Источники бесперебойного питания без секретов

1. Глава 1
2. Глава 2. Типы источников бесперебойного питания
3. Глава 3. ИБП с переключением (Off-line UPS)
4. Глава 4. ИБП взаимодействующий с сетью (line-interactive UPS)
5. Глава 5. Феррорезонансный ИБП
6. Глава 6. ИБП с двойным преобразованием энергии (Double Conversion UPS)
7. Глава 7. Трехфазные ИБП
8. Глава 8. Основные электрические параметры ИБП

Глава 1

Электростанции России объединены в федеральную энергосистему, являющуюся источником электрической энергии для всех ее потребителей. Передача и распределение электроэнергии осуществляется с помощью воздушных линий электропередачи, пересекающих всю страну. Для уменьшения потерь при передаче электроэнергии в линиях электропередач применяется очень высокое напряжение – десятки и (чаще) сотни киловольт.

В силу своей экономичности при передаче энергии применяется изобретенная русским инженером М.О. Доливо-Добровольским трехфазная система переменного тока, при которой электроэнергия передается с помощью четырех проводов. Три из этих проводов называются линейными или фазными, а четвертый – нейтральным проводом или просто нейтралью.

Потребители электроэнергии рассчитаны на более низкие напряжения, чем напряжение в энергосистеме. Понижение напряжения производится в два этапа. Сначала на понижающей подстанции, являющейся частью энергосистемы, напряжение понижается до 6-10 кВ (киловольт). Дальнейшее понижение напряжение производится на трансформаторных подстанциях. Их знакомые всем стандартные "трансформаторные будки" во множестве разбросаны по предприятиям и жилым массивам. После трансформаторной подстанции напряжение понижается до 220-380 В.

Напряжение между линейными проводами трехфазной системы переменного тока называется линейным. Номинальное действующее значение линейного напряжения в России равно 380 В (вольт). Напряжение между нейтралью и любым из линейных проводов называется фазным. Оно в корень из трех раз меньше линейного. Его номинальное значение в России равно 220 В.

Источником тока для энергосистемы являются трехфазные генераторы переменного тока, установленные на электростанциях. Каждая из обмоток генератора индуцирует линейное напряжение. Обмотки симметрично расположены по окружности генератора. Соответственно и линейные напряжения сдвинуты друг относительно друга по фазе. Этот фазовый сдвиг постоянен и равен 120 градусам.

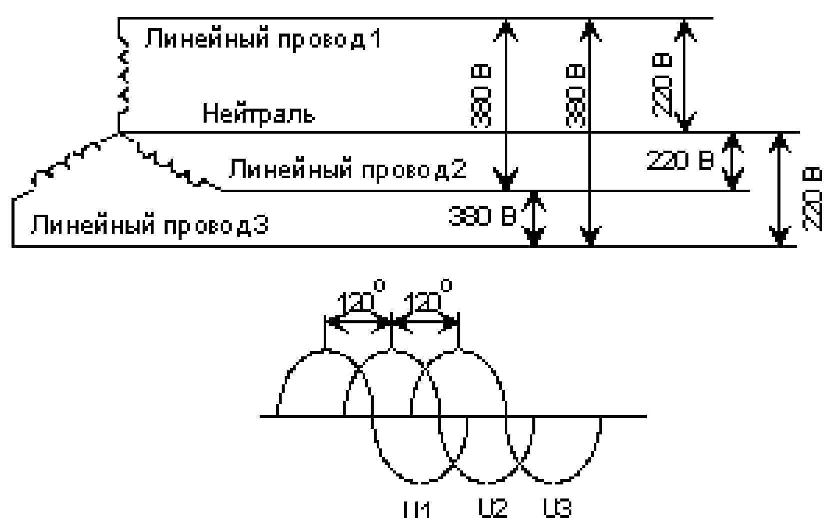


Рис. 1. Трехфазная система переменного тока

После трансформаторной подстанции напряжение через распределительные щитки или (на предприятиях) распределительные пункты поступает к потребителям.

Некоторые потребители (электродвигатели, промышленное оборудование, большие ЭВМ и мощное коммуникационное оборудование) рассчитаны на непосредственное подключение к трехфазной электрической сети. К ним подводятся четыре провода (не считая защитного заземления).

Маломощные потребители (персональные компьютеры, бытовые приборы, офисная техника и т.д.) рассчитаны на однофазную электрическую сеть. К ним подводят два провода (не считая защитного заземления). В подавляющем числе случаев один из этих проводов – линейный, а другой – нейтральный. Напряжение между ними по стандарту равно 220 В.

Приведенные выше действующие значения напряжения не исчерпывают полностью параметры электрической сети. Переменный электрический ток характеризуется также частотой. Номинальное стандартное значение частоты в России равно 50 Гц (Герц).

Реальные значения напряжения и частоты электрической сети конечно могут отличаться от номинальных значений.

К сети постоянно подключаются новые потребители электроэнергии (ток или нагрузка в сети увеличивается) или отключаются какие-либо потребители (в результате ток или нагрузка сети уменьшается). При увеличении нагрузки напряжение в сети падает, а при уменьшении нагрузки напряжение в сети возрастает.

Для уменьшения влияния изменения нагрузки на напряжение, на понижающих подстанциях существует автоматическая система регулирования напряжения. Она предназначена для поддержания постоянного (в определенных пределах и с определенной точностью) напряжения при изменении нагрузки в сети. Регулирование осуществляется за счет перекоммутации обмоток мощных понижающих трансформаторов.

Частота переменного тока задается частотой вращения генераторов на электростанциях. При увеличении нагрузки частота стремится слегка уменьшиться, система регулирования электростанции увеличивает расход рабочего тела через турбину, и частота вращения генератора восстанавливается.

Разумеется ни одна система регулирования (напряжения или частоты) не может работать идеально, и в любом случае пользователю электрической сети нужно смириться с некоторыми отклонениями характеристик сети от номинальных значений.

В России требования к качеству электрической энергии стандартизованы. ГОСТ 23875-88 дает определения показателям качества электроэнергии, а ГОСТ 13109-87 устанавливает значения этих показателей. Этим стандартом установлены значения показателей в точках подключения потребителей электроэнергии. Для пользователя это

означает, что он может требовать от энергоснабжающей организации, чтобы установленные нормы соблюдались не где-то в энергосистеме, а непосредственно в его розетке.

Наиболее важные показатели качества электроэнергии – это отклонение напряжения от номинального значения, коэффициент несинусоидальности напряжения, отклонение частоты от 50 Гц.

Согласно стандарту в течение не менее 95% времени каждых суток фазное напряжение должно находиться в диапазоне 209-231 В (отклонение 5%), частота в пределах 49.8-50.2 Гц, а коэффициент несинусоидальности не должен превышать 5%.

Остальные 5 или менее процентов времени каждых суток напряжение может изменяться от 198 до 242 В (отклонение 10%), частота от 49.6 до 50.4 Гц, а коэффициент несинусоидальности должен быть не более 10%. Допускаются также более сильные изменения частоты: от 49.5 Гц до 51 Гц, но общая длительность таких изменений не должна превышать 90 часов за год.

Авариями электроснабжения называются ситуации, когда показатели качества электроэнергии кратковременно выходят за установленные пределы. Частота может отклоняться на 5 Гц от номинального значения. Напряжение может снижаться до нуля. В дальнейшем показатели качества качества должны восстанавливаться.

Группы потребителей

Согласно Правилам Устройства Электроустановок (ПУЭ) все потребители электроэнергии делятся на три категории.

К первой категории относятся отвественные потребители. Их снабжение электроэнергией производится от двух независмых источников питания. При исчезновении напряжения на одном из источников производится автоматическое переключение на питание нагрузки от второго источника. Независимыми источниками могут быть распределительные устройства двух электростанций или не связанных друг с другом подстанций. Переключение производится автоматическими выключателями резерва (АВР). При срабатывании этих механических (а иногда и тиристорных) переключателей, время отсутствия напряжения (период, в течение которого нагрузка остается без электропитания) составляет 10-3000 мс.

Из первой категории выделяется группа особо ответственных потребителей. Их электропитание производится от трех независимых источников. В качестве третьего источника допускается использовать дизельный генератор или аккумуляторные батареи.

Ко второй категории относятся менее отвественные потребители. Их электроснабжение должно производится от двух независимых источников питания. Но для этой категории потребителей допустим более длительный разрыв электропитания, достаточный для переключения вручную оперативным персоналом или выездной аварийной бригадой.

Все остальные потребители относятся к третьей категории. Их электроснабжение может осуществляться от одного источника питания, при условии, что перерывы электроснабжения не превышают одних суток. В это время включается и ремонт или замена вышедшего из строя оборудования.

К потребителям первой категории относятся федеральные и региональные органы власти, большие старые банки, больницы, начиная с областных, некоторые предприятия с непрерывным циклом производства, крупные узлы связи и т.д.

Ко второй категории потребителей относятся больницы и узлы связи, крупные предприятия и др.

Заземление

При установке промышленного оборудования для предотвращения поражения электрическим током, применяется защитное заземление. Защитным заземлением называется преднамеренное соединение с землей металлических частей оборудования (обычно рамы, корпуса или защитного кожуха), нормально не находящихся под напряжением. Даже если произойдет повреждение электрической изоляции (и даже, если при этом не сработают защитные предохранители), то напряжение на заземленных частях оборудования будет безопасным, так как сопротивление заземления по стандарту не должно превышать 4 Ома. При организации локальных компьютерных сетей рекомендуется еще более низкое сопротивление заземления – не более 0.5-1 Ома. Впрочем, в этом случае заземление главным образом служит для уменьшения помех, возникающих при работе различного оборудования. Для устройства заземления в грунте размещают металлические предметы с развитой поверхностью и надежно соединяют его с шиной заземления.

Ранее в России для подключения бытовых и офисных приборов не применялось заземление. В быту и офисах использовались двухпроводные розетки, рассчитанные на напряжение до 250 В и ток до 6 А. Один из контактов в этой розетке соединен с линейным проводом трехфазной цепи (или, как говорят электрики с "фазой"), а другой – с нейтралью. Исключение делалось только для мощной бытовой техники, типа кухонных плит и некоторых стиральных машин. Эти приборы подключались к специальной розетке с заземлением (которым часто служила "нейтраль" электрической цепи).

С появлением персональных компьютеров и большого количества импортной офисной и бытовой техники, начала широко применяться розетка с расположенными в периферийной части розетки заземляющими контактами. Эта розетка рассчитана на напряжение до 250 В и ток до 10 А (иногда до 16 А). Обычно ее называют "компьютерной", "европейской" или "евророзеткой". В странах Европы применяются несколько типов розеток (в частности, рассматриваемая розетка применяется в Германии), и включить применяемый скажем в Швейцарии компьютер в английскую розетку так же невозможно, как и в японскую. Поэтому в дальнейшем мы будем называть эту розетку просто розеткой с заземлением. Обычно именно такая розетка применяется для подключения компьютеров и другого офисного оборудования мощностью до 2 кВА (иногда до 3 кВА).

В России чаще всего применяется четырехпроводная трехфазная электрическая сеть с глухозаземленной нейтралью. Нейтральный провод в такой сети заземлен в нескольких местах (на электростанциях, подстанциях, в линиях электропередач). В электрической сети с глухозаземленной нейтралью вместо защитного заземления допускается использовать защитное "зануление" – соединение корпуса устройства с нейтральным проводом (а не с землей). В промышленности этот вид защиты от поражения электрическим током является основным.

В некоторых странах применяется пятипроводная трехфазная сеть. В ней провод заземления и нейтраль отделены друг от друга. Пятипроводная сеть дороже (больше расходы на кабель и его прокладку), но более устойчива к помехам, особенно при работе компьютерного оборудования.

Как устроено оборудование

Электрооборудование, изготавливаемое в России, естественно рассчитано на российскую электрическую сеть и обязано работать при напряжении от 198 до 242 В и частоте от 49.5 до 51 Гц. Как правило диапазон напряжений и частот, в котором может работать оборудование, еще несколько шире (характерны например 187-242 В). Для большинства работающих от сети устройств допустимы изменения частоты на 2 Гц (или даже более) по сравнению с номинальным значением.

Большая часть применяемого в России офисного оборудования – это оборудование импортное. Оно не всегда рассчитано на наши стандарты. Например часто встречается оборудование, предназначенное для работы при номинальном напряжении 230 В и рассчитанное на допускаемые отклонения напряжения 10%. Такое оборудование имеет право не работать при вполне стандартных в нашей стране условиях.

Сузим диапазон рассматриваемого оборудования до компьютеров и компьютерной периферии. Такого рода приборы обычно оснащены импульсными блоками питания, которые могут работать в очень широком диапазоне напряжений. Эксперименты показывают, что стандартный ПК (системный блок с одним диском и дисководами и монитор) с не слишком плохим блоком питания может работать при очень низких напряжениях. Не хотелось бы давать конкретные числа, поскольку они конечно же разные для разных компьютеров, но можно уверенно сказать: 99% персональных компьютеров, продаваемых в России, могут стабильно работать при напряжениях 170-180 В. При уменьшении напряжения, для получения той же мощности, требуемой для работы компьютера, импульсный блок питания потребляет больший ток. Это значит, что его ресурс при меньших напряжениях может уменьшиться. Кроме того, если компьютер оснащен многими устройствами, питаемыми от его блока питания (дисками, модемами и др.), то минимальное напряжение, при котором может работать компьютер, возрастает.

В России имеется стандарт (ГОСТ Р 50628-93), определяющий требования к персональным компьютерам по устойчивости к электромагнитным помехам. Этому стандарту должны соответствовать все компьютеры, производимые или импортируемые в России.

Компьютеры и периферийные устройства подразделяются на две группы в зависимости от устойчивости к помехам. Группу определяет производитель компьютера. После соответствующих испытаний и сертификации он имеет право объявить о соответствии его компьютера группе I или II ГОСТ Р 50628-93 по устойчивости к электромагнитным помехам. В таблице приведены параметры электрической сети, которые должны выдерживать компьютеры и периферийное оборудование в соотвествии с этим стандартом.

Таблица 1. Требования к качеству электрической сети

	Группа	
Вид внешней помехи	I	II
Электростатические разряды:		
- контактные	2-4 кВ	4-6 кВ
- воздушные	2-4 кВ	4-8 кВ
Наносекундные импульсные помехи:		
- в цепях питания	0.5 кВ	1 кВ
- в цепях ввода-вывода	0.5 кВ	0.5 кВ
Динамические изменения напряжения питания:		
- провалы напряжения	154 В на 200 мс	154 В на 500 мс
- прерывания напряжения	0 В на 20 мс	0 В на 100 мс
- выбросы напряжения	264 В на 200 мс	264 В на 500 мс

Микросекундные импульсы большой энергии	500 В	1000 В
Радиочастотные электромагнитные поля	1 В/м	3 В/м

Сбои электропитания

Описанная в начале главы благостная картина электрической сети встречается, конечно, только в книжках. На самом деле в электрической сети бывают разного рода сбои. В России получили известность данные исследований, проведенных в США фирмами Bell Labs и IBM. Согласно последнему, каждый персональный компьютер подвергается воздействию 120 нештатных ситуаций с электропитанием в месяц. По данным Bell Labs в США наблюдаются следующие наиболее часто встречающиеся сбои питания.

1. Провалы напряжения – кратковременные понижения напряжения, связанные с резким увеличением нагрузки в сети в связи с включением мощных потребителей, таких, как промышленное оборудование, лифты и т.д. Является наиболее частой неполадкой в электрической сети, встречается в 87 % случаев.

2. Высоковольтные импульсы – кратковременное (на наносекунды или единицы микросекунд) очень сильное увеличение напряжения, связанное с близким грозовым разрядом или включением напряжения на подстанции после аварии. Составляет 7.4% всех сбоев питания.

3. Полное отключение напряжения согласно этому исследованию является следствием аварий, грозовых разрядов, сильных перегрузок электростанции. Встречается в 4.7% случаев.

4. Слишком большое напряжение – кратковременное увеличение напряжения в сети, связанное с отключением мощных потребителей. Встречается в 0.7% случаев.

Эту картину видимо можно считать типичной для большинства развитых стран. (Заметим в скобках, что и источники бесперебойного питания, производимые в этих странах, в большинстве случаев ориентированы именно на такую электрическую сеть).

К сожалению и эта картина не всегда соответствует нашей действительности. Фирмой "А и Т Системы" по заказам разных клиентов проводились обследования электрической сети на предприятиях в разных местах России и за рубежом. Кроме того, к нам также поступала косвенная информация о состоянии электрической сети в разных местах бывшего СССР. Таких обследований было не так много, чтобы можно было делать профессиональные статистические выводы, но все же кое-что просто бросается в глаза.

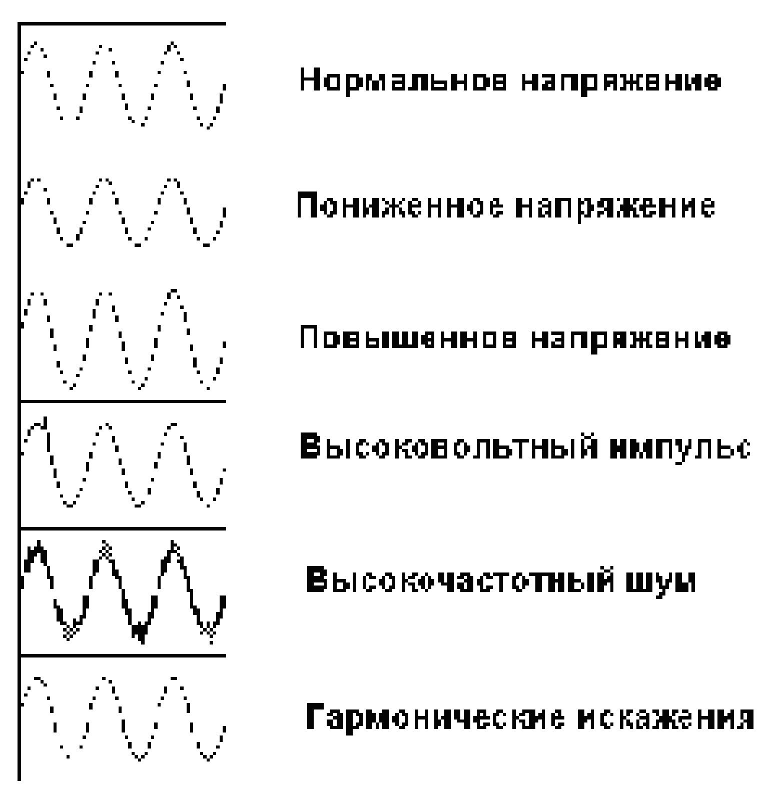


Рис. 2. Виды сбоев электропитания

Наиболее часто встречающейся неполадкой в электрической сети, так же, как и в США, можно считать пониженное напряжение в сети. Однако этот вид сбоя питания вовсе не так доминирует над остальными видами сбоев.

Начнем с того, что повышенное напряжение в сети встречается почти так же часто, как и пониженное напряжение. Причем для разных мест (городов, районов, предприятий) обычно характерен определенный уровень напряжения в сети. Где-то оно может быть в основном пониженное, в других местах в основном нормальное или в основном повышенное. Этот уровень сохраняется примерно одинаковым все время. На его фоне происходят циклические изменения напряжения, связанные с изменением нагрузки в электрической сети.

Самый короткий цикл изменения напряжения – дневной. На рис. 3 приведены реальные графики изменения напряжения в двух точках России (отстоящих друг от друга на полторы тысячи километров) в течение суток.

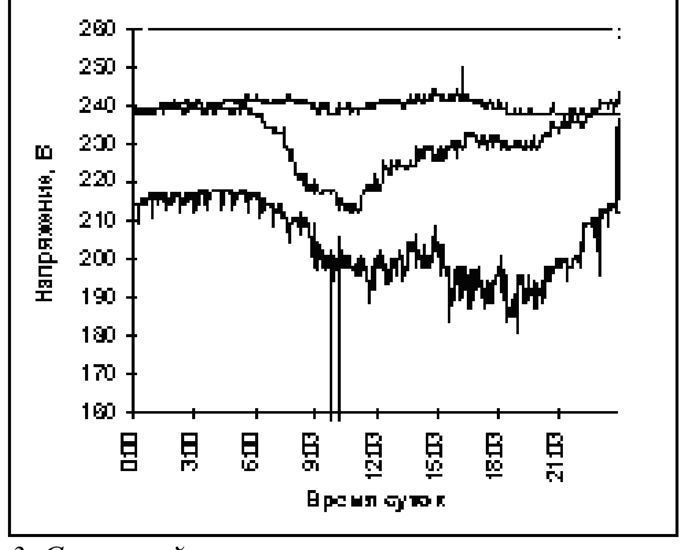


Рис. 3. Суточный цикл изменения напряжения в сети

Нижняя кривая на рис. 3 получена в сети с пониженным напряжением. Стабильное ночью напряжение около 215 В снижается с началом дня и вновь возрастает вечером, когда большинство потребителей отключаются. Средняя кривая на рис. 3 получена в электрической сети с повышенным напряжением. Здесь наблюдается более характерная зависимость напряжения от времени суток. Стабильное ночью напряжение понижается утром, достигая минимума в середине рабочего дня, и плавно нарастает к его концу. Оба описанные графика получены в рабочие дни недели. Верхний график на рис. 3 получен в праздничный день в том же месте, что и средний график. В этом случае напряжение остается стабильно повышенным в течение суток. Если включить в рассмотрение и напряжение в выходные дни, то мы получим следующий по длительности цикл изменения напряжения в электрической сети – недельный. Видимо существуют циклы изменения напряжения большей длительности (например, годовой цикл) но они нами никогда не отслеживались.

В России, и особенно в других странах СНГ, наблюдается вид сбоя питания совершенно неизвестный на Западе. Это нестабильная частота. Самым характерным примером являлась Грузия в 1992-1994 годах. Энергосистема Грузии в целом видимо была очень сильно перегружена. Поэтому частота в сети могла опускаться до 42 Гц. Само по себе изменение частоты не представляет существенной опасности для оборудования, оснащенного импульсным блоком питания, но очень низкая частота обычно сопровождается сильными гармоническими искажениями, которые могут отрицательно повлиять на работу не только компьютера, но и большинства источников бесперебойного питания (ИБП). Кроме того, многие ИБП среднего класса воспринимают сильное понижение частоты как аварийный случай и начинают расходовать заряд батареи. Батарея разряжается через несколько минут и вся работа на этом заканчивается.

В России пониженная частота встречается довольно редко. Тем не менее, даже в Москве сотрудниками фирмы Merlin Gerin была, по их словам, однажды зарегистрирована частота ниже 45 Гц. В наших измерениях частота ниже 49.5 Гц не встречалась.

Еще одной отличительной особенностью России являются причины (и, соответственно, количество) полных отключений напряжения. Аварии и стихийные бедствия, являющиеся причинами полного отключения напряжения в развитых странах, случаются у нас примерно с такой же частотой, что и там. Но в России эти случайности не являются единственными, и даже главными, причинами полного исчезновения напряжения. Свое уверенное слово говорит человеческий фактор. Дело в недостатке знаний. Электрики, обслуживающие офисное здание с множеством компьютеров, обычно не имеют никакого представления о том, какие последствия имеет отключение напряжения для компьютеров и данных. Поэтому они ведут себя совершенно так же, как и 20 лет назад. При возникновении какой-либо проблемы с электропитанием на этаже (например, отключился автоматический выключатель – предохранитель), электрик начинает искать автоматический выключатель, отвечающий за зону, в которой возникла проблема. Ищет он разумеется не по схеме (это долго, да и схемы у него возможно, или скорее всего, нет). Он просто последовательно отключает и тут же включает все автоматы на щитке и смотрит на результат. В момент, когда в нужном помещении появляется свет, он считает свою миссию законченной. Если нужный автомат окажется последним, то в течение минуты каждая электролампа и каждый компьютер на этаже подвергнутся кратковременному (менее секунды) отключению напряжения. Для освещения ничего страшного не происходит, люди обычно даже не успевают испугаться, оказавшись на мгновение в темноте. Но секундного отключения вполне достаточно для потери данных на компьютерах. Особенно часто такие случаи бывают весной и осенью, когда заканчивается или начинается отопительный сезон. Если отопление уже отключили или еще не включили, и вдруг похолодало, то люди реагируют стандартно: они включают электрические подогреватели. Если электрическая сеть сильно нагружена, то

подключение дополнительных (и мощных) потребителей может привести к срабатыванию автоматического предохранителя. Такой цикл включений и отключений может в некоторых организациях повторяться по несколько раз в день. В остальном электрическая сеть в России ведет себя примерно так же, как и в США.

Отметим еще один вид искажений электропитания, не рассмотренный Bell Labs. Речь идет об искажениях формы синусоиды, связанных с работой компьютеров и других нелинейных нагрузок. При работе импульсных блоков питания в сильно перегруженной сети могут возникать искажения формы синусоидального напряжения. Это может выражаться в срезании вершины синусоиды и появлении гармоник – колебаний кратных частот. Эти искажения могут приводить к неполадкам в работе другого чувствительного оборудования, например измерительных приборов или видеоаппаратуры. Искажения формы кривой напряжения усугубляются специфическими свойствами трехфазной электрической сети, изначально предназначенной для работы только с синусоидальными напряжениями и токами. Работа компьютеров в трехфазной электрической сети рассмотрена в разделе "Особенности трехфазных источников бесперебойного питания" главы 8.

Для любителей эмоционального осмысления неприятностей с электричеством, а также тем, кто склонен часто жаловаться на качество электрической энергии, можно рекомендовать один из лучших технологических романов Артура Хейли: "Перегрузка". Читая его, вы в течении нескольких часов сможете посмотреть на ситуацию со стороны производителя электроэнергии.

Таблица 2. Виды сбоев электропитания

Вид сбоя электропитания	Причина возникновения	Возможные следствия
Пониженное напряжение, провалы напряжения	Перегруженная сеть, неустойчивая работа системы регулировнаия напряжения сети, подключение потребителей, мощность которых сравнима с мощностью участка электрической сети	Перегрузки блоков питания электронных приборов и уменьшение их ресурса. Отключение оборудования при недостаточном для его работы напряжении. Выход из строя электродвигателей. Потери данных в компьютерах.
Повышенное напряжение	Недогруженная сеть, недостаточно эффективная работы системы регулирования, отключение мощных потребителей	Выход из строя оборудования. Аварийное отключение оборудования с потерей данных в компьютерах.
Высоковольтные импульсы	Атмосферное электричество, включение и отключение мощных потребителей, запуск в эксплуатацию части энергосистемы после аварии.	Выход из строя чувствительного оборудования.
Электрический шум	Включение и отключение мощных потребителей. Взаимное влияние работающих неподалеку электроприборов.	Сбои при выполнении программ и передаче данных. Нестабильное изображение на экранах мониторов и в

		видеосистемах.
Полное отключение напряжения	Срабатывание предохранителей при перегрузках, непрофессиональные действия персонала, аварии на линиях электропередач.	Потери данных. На очень старых компьютерах – выход из строя жестких дисков.
Гармонические искажения напряжения	Значительную долю нагрузки сети составляют нелинейные потребители, оснащенные импульсными блоками питания (компьютеры, коммуникационное оборудование). Неправильно спроектирована электрическая сеть, работающая с нелинейными нагрузками, перегружен нейтральный провод.	Помехи при работе чувствительного оборудования (радио и телевизионные системы, измерительные комплексы и т.д.)
Нестабильная частота	Сильная перегрузка энергосистемы в целом. Потеря управления системой.	Перегрев трансформаторов. Для компьютеров само по себе изменение частоты не страшно. Нестабильная частота является лучшим индикатором неправильной работы энергосистемы или ее существенной части.

Перегрузки

Попробуем слегка систематизировать уже сказанное относительно изменения нагрузки в сети. Перегрузки (т.е. ситуации, когда ток в сети выше номинального или предельно допустимого для участка электрической сети) могут происходить на разных уровнях системы электроснабжения. Соответственно разные и последствия.

Локальная перегрузка – это перегрузка сети на участке от потребителей до ближайшего автоматического предохранителя. Перегрузки на участке сети могут вызывать срабатывание этого предохранителя и, следовательно, локальное отключение напряжения.

Местная перегрузка возникает, если перегружена вся линия от потребителей до понижающего трансформатора. Происходит снижение напряжения в сети. При сильных перегрузках и выходе из строя локальных систем защиты, возможно срабатывание системы защиты подстанции, также сопровождаемое временным полным отключением напряжения. Это отключение распространяется на всех потребителей, питаемых от этого трансформатора.

Общая перегрузка возникает, если перегружена вся энергосистема или существенная ее часть. В этом случае, помимо снижения напряжения может происходить и уменьшение частоты синусоидального напряжения. При глубоких общих перегрузках возможно срабатывание защиты на электростанции и отключение напряжения в системе в целом. В России перегрузки такого рода не встречаются или встречаются крайне редко. Основным препятствием для возникновения такой перегрузки является грамотное управление участком энергосистемы (временное, в том числе плановое, отключение части потребителей и другие способы уменьшения нагрузки).

Классическим случаем общей перегрузки является широко известный случай, произошедший в Нью-Йорке полтора десятилетия назад. В разгар рабочего дня из-за аварии на одной из подстанций города, все питаемые ею потребители были отключены. Автоматическая система управления энергосистемой немедленно восстановила питание потребителей, подключив их к другим подстанциям. Одна из подстанций была нагружена почти полностью, не выдержала дополнительной нагрузки и отключилась. Ее потребители опять были автоматически распределены между другими подстанциями. Началась цепная реакция отключения подстанций, охватившая весь Манхэттэн – деловой центр Нью-Йорка. Результатом мелкой аварии в сочетании с недоработанной системой управления и недостаточной выучкой диспетчеров было погружение во тьму офисов сотен крупнейших фирм мира.

Совершенно особенным случаем перегрузки является временная перегрузка, связанная со стартовыми токами, возникающими при запуске почти любого оборудования. Стартовый ток может превышать номинальный ток потребления электрического прибора в единицы, десятки и (к счастью очень редко) в сотни раз. В зависимости от величины стартового тока, временная перегрузка может распространиться на больший или меньший участок сети. Чаще всего включение оборудования вызывает местные перегрузки, но известны случаи, когда включение одного очень мощного агрегата вызывает перегрузку энергосистемы целой страны.

Например, в Монголии есть крупное горнообогатительное предприятие "Эрдэнэт", бывшая "стройка социализма", а сейчас совместное монгольско-российское предприятие. Это предприятие является крупнейшим в стране и потребляет примерно треть всей монгольсой электроэнергии (соответственно примерно 120 и 300 МВт). Основой технологического процесса являются шаровые мельницы, перемалывающие руду в мелкую пыль. Барабан такой мельницы имеет диаметр 6 метров и длину около 18 метров. Электродвигатель, который крутит барабан – тоже не маленький – его мощность 5 МВт. Мельницы работают круглосуточно, месяцы напролет. Каждая остановка для профилактического ремонта (или, наоборот, включение) – крупное событие, планирующееся за много месяцев. Дело в том, что двигатель мельницы запускается под нагрузкой (нужно преодолеть огромную инерцию барабана), и стартовые токи могут превышать номинальные в 10 раз. А 50 МВт – это почти 20% от мощности энергосистемы Монголии. Управляемый запуск (например с помощью тиристорного привода) такого двигателя пока невозможен – слишком большая мощность. Однажды мне довелось с осциллографом в руках следить за таким запуском. Он прошел очень удачно – напряжение (видимо по всей стране) просело всего на 12 вольт. Сказалось временное подключение энергосистемы Монголии к российской – часть пиковой нагрузки взяло на себя Иркутскэнерго.

В трехфазной сети, нагруженной в основном компьютерами, может возникать еще один вид перегрузки: перегрузка нейтрального провода из-за искаженной формы кривой тока нагрузки. Его особенная опасность обусловлена в основном тем, что не может быть обнаружена обычными щитовыми приборами и почти всегда остается незамеченной, а также отсутствием предохранителей на нейтральном проводе.

Нейтральный провод

Нейтральный провод в трехфазной системе переменного тока выполняет очень важную функцию. Он служит для выравнивания фазных напряжений во всех трех фазах при разных нагрузках фаз (или, как говорят электрики, – перекосе фаз). В случае обрыва нейтрального провода при неодинаковых нагрузках в фазах фазные напряжения будут различными. В фазах с большой нагрузкой (меньшим сопротивлением) напряжение будет ниже нормального, даже если эта фаза очень далека от перегрузки. В фазах с меньшей нагрузкой (большим сопротивлением) напряжения станет выше нормального. Особенно

опасным является короткое замыкание после обрыва нейтрального провода. При этом напряжение на оставшихся незакороченными фазами возрастает в корень из трех раз (с нормальных 220 В до 380 В). Для исключения обрыва на нейтральном проводе не устанавливают предохранителей и выключателей. Этот вид сбоя электропитания является одним из самых опасных, но при правильном проектировании и эксплуатации электрической сети или системы бесперебойного питания встречается очень редко.

В России применяется четырехпроводная трехфазная электрическая сеть. Она еще называется электрической сетью с глухо-заземленной нейтралью. За этими словами скрывается вполне простой факт: нейтральный провод на подстанции заземлен и практически не только выполняет свою функцию "симметрирования" трехфазной сети, но и используется как защитное заземление.

В Европе обычно применяется пяти-проводная электрическая сеть. В такой электрической сети имеется отдельный (пятый) провод заземления и нейтральный провод выполняет только одну функцию. Кстати сказать, все западные трехфазные ИБП предназначены для использования именно с такой электрической сетью.

Нейтральный провод рассчитан на эффективную компенсацию токов в разных фазах в случае синусоидальных токов в трехфазной электрической сети. Если в электрическую сеть включено много компьютеров, то форма кривой тока искажается и эффективность работы нейтрального провода резко снижается. При этом возможны опасные перегрузки нейтрального провода и искажения формы кривой напряжения. Подробнее об этом рассказано в главе 8.

Глава 2. Типы источников бесперебойного питания

Первое и самое главное назначение источника бесперебойного питания – обеспечить электропитание компьютерной системы или другого оборудования в то время, когда электрическая сеть по каким-то причинам не может это делать. Во время такого сбоя электрической сети ИБП питается сам и питает нагрузку за счет энергии, накопленной его аккумуляторной батареей. Каждый человек, сталкивающийся с компьютерами, рано или поздно узнает о великолепной идее бесперебойного питания компьютеров. Если этот человек имеет инженерное образование и творческую жилку, он немедленно начинает изобретать "велосипед", придумывая, как бы можно было сделать такую штуку. Как правило, люди в этой ситуации придумывают одну и ту же схему, которая им кажется наиболее естественной и простой. Эта схема традиционно называется схемой с двойным преобразованием энергии.

ИБП с двойным преобразованием энергии (англ. – Double conversion UPS)

Основная идея этой схемы действительно очень проста. Компьютер питается от сети переменного тока. Значит на выходе ИБП должен выдавать переменный ток. И на входе ИБП тоже должен потреблять переменный ток, поскольку он питается от той же электрической сети. Но внутри ИБП (где-то в середке) должно быть постоянное напряжение, потому что оно необходимо для питания аккумуляторной батареи.

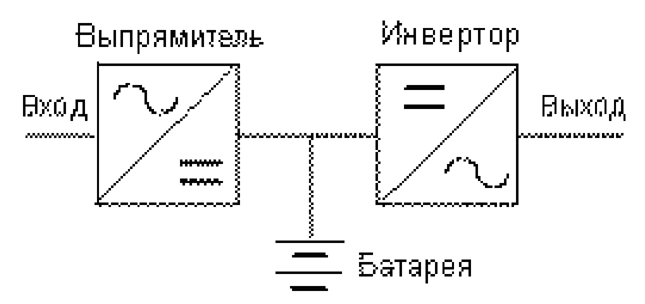


Рис. 4. ИБП с двойным преобразованием энергии

Таким образом мы получаем нашу первую схему источника бесперебойного питания. Вся мощность, потребляемая ИБП от сети, сначала преобразуется из переменного тока в постоянный с помощью выпрямителя. После этого в действие вступает преобразователь постоянного тока в переменный – инвертор, обеспечивающий на выходе ИБП необходимое переменное напряжение.

Аккумуляторная батарея, как ей и положено, находится в цепи постоянного тока, между выпрямителем и инвертором. Если в сети нормальное напряжение, выходного тока выпрямителя хватает для работы инвертора и для подзаряда батареи.

Когда напряжение в сети становится таким маленьким, что выпрямитель уже не может обеспечить полноценную работу инвертора, аккумуляторная батарея заменяет выпрямитель и питает инвертор требующимся ему постоянным током. Инвертор, в свою очередь, продолжает, как ни в чем ни бывало, подавать напряжение к компьютеру.

Но замена выпрямителя батареей не совсем полноценна: батарея может питать инвертор только ограниченное время, которое зависит от накопленного ею заряда и мощности компьютерной системы. Как правило, это время исчисляется минутами или десятками минут.

Придуманная нами схема ИБП традиционно называется (по понятным теперь причинам) схемой с двойным преобразованием энергии. Она изображена на рис. 4. Эта схема (тоже традиционно) называется еще схемой on-line (он лайн). Этот английский, или, вернее, американский, термин плохо поддается переводу. Буквально on-line означает нечто, постоянно подключенное к сети.

Как мы увидим дальше, не только схема с двойным преобразованием энергии претендует на почетное в компьютерных кругах звание on-line. Поэтому в дальнейшем я постараюсь не злоупотреблять этим термином и буду называть ИБП по их характерным схемным отличиям.

Современные ИБП с двойным преобразованием энергии построены намного сложнее придуманной нами схемы. Подробнее о них мы поговорим в главе, посвященной этим устройствам.

Возможно вы уже заметили одно характерное свойство этой схемы ИБП, которое, в зависимости от точки зрения, можно считать недостатком или преимуществом. Речь идет о том, что наиболее важные части ИБП – выпрямитель и инвертор интенсивно работают даже тогда, когда в сети есть вполне нормальное напряжение, от которого мог бы питаться ваш компьютер. Это видимо приводит к уменьшению ресурса этих частей ИБП, усложнению схемы и бесполезному расходу энергии (ведь стопроцентного КПД не бывает).

- Не беда – скажем мы, и придумаем другую схему источника бесперебойного питания.

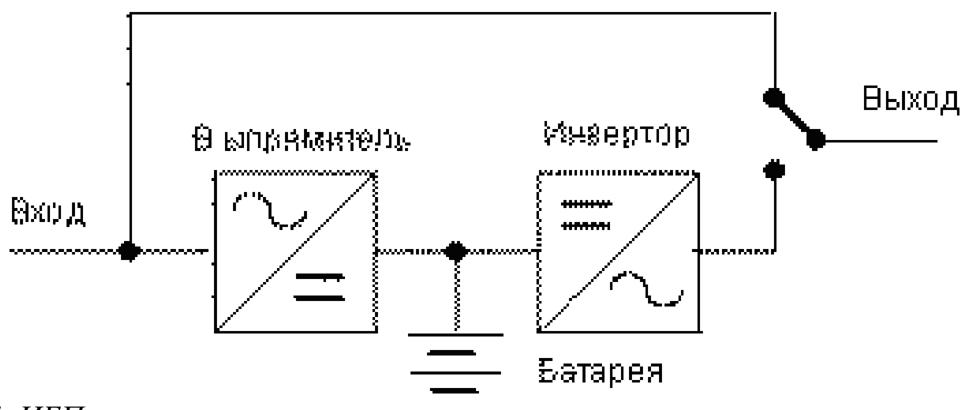


Рис. 5. ИБП с переключением

Когда в сети нормальное напряжение, компьютер (или другая нагрузка ИБП) работает непосредственно от сети. В это время маломощный выпрямитель подзаряжает батарею ИБП. Если напряжение становится "ненормальным" или совсем исчезает, показанный на схеме переключатель срабатывает, включается инвертор, и ИБП начинает питать нагрузку от своей батареи. ИБП с переключением имеет высокий КПД, поскольку при нормальной работе потребляет только энергию, необходимую для питания своей схемы и, если батарея разряжена, то для ее подзаряда. О других преимуществах, а также о многочисленных недостатках, которые (как и все на свете) имеет ИБП с переключением, мы подробно поговорим в соответствующей главе.

Может быть самым серьезным из недостатков является то, что при переключении ИБП с режима работы от батареи на режим работы от сети, на выходе ИБП могут возникать скачки напряжения. При неблагоприятной фазе напряжения в момент переключения блок питания компьютера не сможет их погасить. В этом случае на чувствительных электронных компонентах компьютера возникают импульсные напряжения. Сами по себе они не опасны, но в сочетании с другими помехами в принципе могут быть причиной сбоя при работе компьютера.

У скачкообразного изменения напряжения несколько причин. Во время работы от батареи, напряжение на выходе ИБП с переключением несинусоидальное (оно имеет вид чередующихся прямоугольным импульсов с паузами). Во время переключения (которое занимает от 2 до 20 миллисекунд для разных моделей ИБП) на выходе ИБП отсутствует напряжение. Следовательно, имеется небольшой разрыв в напряжении, питающем компьютер. Почти единственная функция ИБП с переключением – поддержание работы компьютера, когда в сети нет напряжения. Но он не может эффективно взаимодействовать с электрической сетью и следить за отсутствием искажений сетевого напряжения, а также регулировать напряжение, когда оно становится слишком маленьким или чересчур большим.

Нашим ответом на эту неприятность будет следующая схема. Она так и называется: ИБП, взаимодействующий с сетью (англ. – Line Interactive UPS).

ИБП, взаимодействующий с сетью (англ. – Line Interactive UPS)

Упрощенная блок-схема ИБП, взаимодействующего с сетью, представлена на рис. 6. Если разобраться, она очень похожа на предшествующую схему. Переключатель переехал ближе к входу, инвертор этого ИБП постоянно подключен к нагрузке. Кроме того, в нашей новой схеме появился автотрансформатор. Честно говоря, он, как правило есть и в ИБП с переключением, но для ИБП, взаимодействующего с сетью, его наличие принципиально.

У этого автотрансформатора есть дополнительные отводы, к которым может быть подключена нагрузка при работе ИБП от сети. В результате напряжение на выходе ИБП иногда становится не таким, как на входе. С помощью автотрансформатора с отводами ИБП регулирует напряжение (увеличивает выходное напряжение, когда напряжение на входе мало и уменьшает напряжение на выходе, если входное напряжение слишком повысилось).

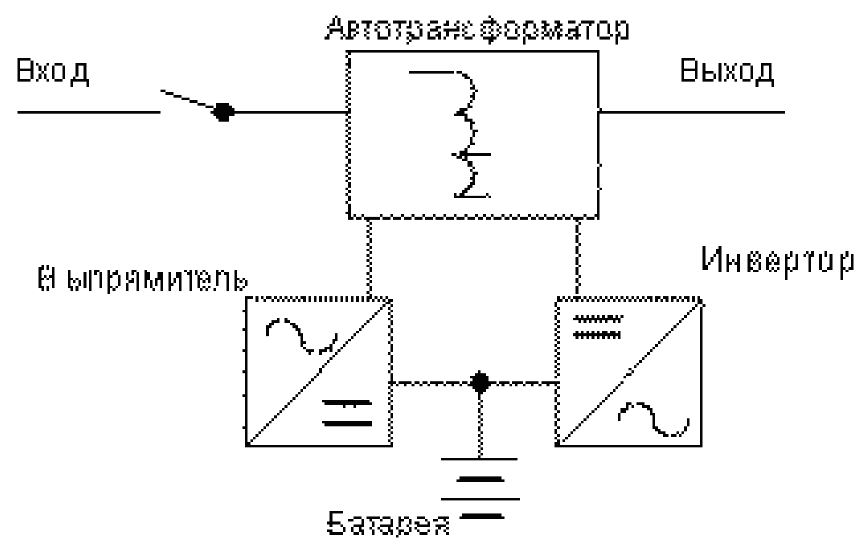


Рис. 6. ИБП, синхронизованный с сетью

Взаимодействующий с сетью ИБП постоянно следит за напряжением: его величиной и формой. Для этого управление ИБП, взаимодействующего с сетью, поручено микропроцессору. Обычно микропроцессор нагружают множеством дополнительных функций, не связанных непосредственно со слежением за сетью и управлением, и некоторые из этих ИБП становятся довольно "умными": Они могут регистрировать напряжение в электрической сети, следят за временем и частотой, запоминают свои аварийные сообщения, включаются по расписанию и т.д. Работает ИБП, взаимодействующий с сетью, примерно так же, как и ИБП с переключением. Когда в сети "нормальное" напряжение, он питает нагрузку от сети.

Если напряжение отсутствует или искажено, то инвертор мгновенно начинает питать нагрузку, разряжая батарею, а входной переключатель ИБП размыкается. Если напряжение в сети есть, но заметно меньше (или больше) нормы, то взаимодействующий с сетью ИБП переключает отводы автотрансформатора и регулирует напряжение, не переключаясь на батарею. Как и ИБП с переключением, ИБП, взаимодействующий с сетью, имеет высокий КПД и некоторые другие преимущества.

Принципиальным, но не самым важным, недостатком этой схемы (как и ИБП с переключением) является разрыв электропитания в момент переключения на работу от батареи и обратно. Этот разрыв является следствием использования механических переключателей. Время их срабатывания довольно мало (несколько миллисекунд), но отлично от нуля. Как было бы здорово, если бы внутри ИБП во время, пока срабатывает переключатель, напряжение на нагрузке поддерживалось бы какой-нибудь очень умной штукой. Эта штука была изобретена американцем Джозефом Солой в 1938 году, и называется феррорезонансным трансформатором.

Феррорезонансный ИБП (англ. – Ferroresonant UPS)

Феррорезонансный ИБП в какой-то степени является разновидностью ИБП, взаимодействующих с сетью. Тем не менее его обычно выделяют в отдельную группу ИБП. Дело в том, что в схему этого ИБП введен элемент, принципиально меняющий его работу, и давший название этому прибору. Это феррорезонансный трансформатор. Он включен в схему феррорезонансного ИБП вместо автотрансформатора с отводами в схеме ИБП, взаимодействующего с сетью.

Коротко говоря, его функции заключаются в следующем. Он стабилизирует напряжение на выходе ИБП. Это позволяет работать в широком диапазоне сетевых напряжений без переключения на батарею. Нет никаких переключений и внутри самого

ИБП (феррорезонансный трансформатор регулирует напряжение, не нуждаясь в переключении отводов).

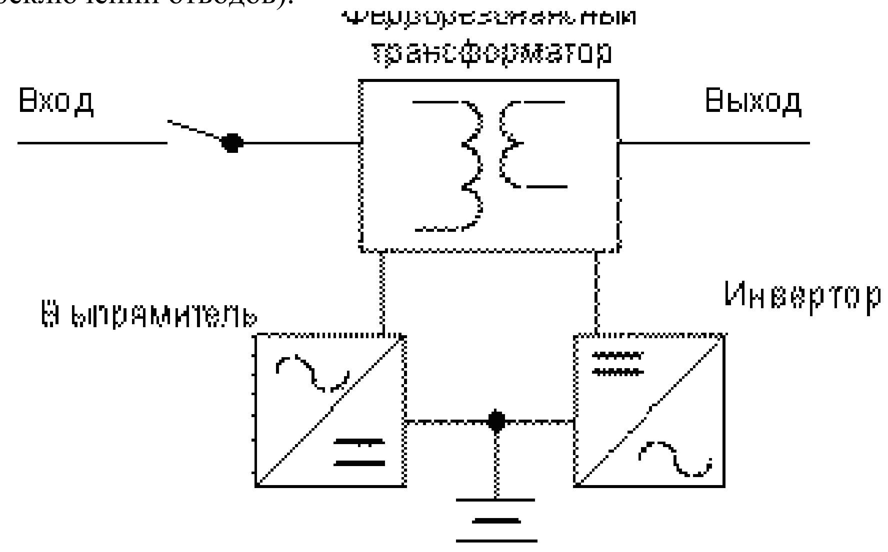


Рис. 7. Феррорезонансный ИБП

Феррорезонансный трансформатор имеет значительную индуктивность. Во время работы ИБП от сети в магнитном поле трансформатора накапливается большая энергия, которая питает нагрузку во время переключения на работу от батареи. Поэтому выходное напряжение феррорезонансного ИБП не имеет разрыва в момент исчезновения напряжения в электрической сети. Это свойство дает возможность изготовителям феррорезонансных ИБП вполне обоснованно рекламировать их, как on-line ИБП.

Кроме отсутствия разрыва напряжения и плавного регулирования напряжения, феррорезонансный ИБП имеет и другие свойства, характерные для ИБП с двойным преобразованием энергии. Мы займемся ими позднее, в соответствующей главе.

Другие ИБП

Кроме рассмотренных четырех основных схем, в жизни существуют и другие разновидности ИБП, иногда очень экзотические. В нашей действительности они почти не встречаются или являются всего лишь разновидностью одной из рассмотренных схем. Поэтому рассматриваться в этой книге они не будут.

В последние годы некоторое распространение получили ИБП с дельта-преобразованием. Они также не рассматриваются в настоящей книге, хотя, возможно, и заслуживают его.

А теперь рассмотрим подробнее ИБП основных четырех типов.

Глава 3. ИБП с переключением (Off-line UPS)

На рисунке 8 представлена блок-схема реального (или, по крайней мере, более похожего на реальный) ИБП с переключением. В ней появились новые элементы, по сравнению со схемой, придуманной нами во второй главе. Входной фильтр импульсов и фильтр шумов улучшают форму кривой напряжения при работе от электрической сети. Схема анализа сети и управления определяет моменты переключения режимов работы ИБП, следит за разрядом батареи и выполняет другие полезные функции.

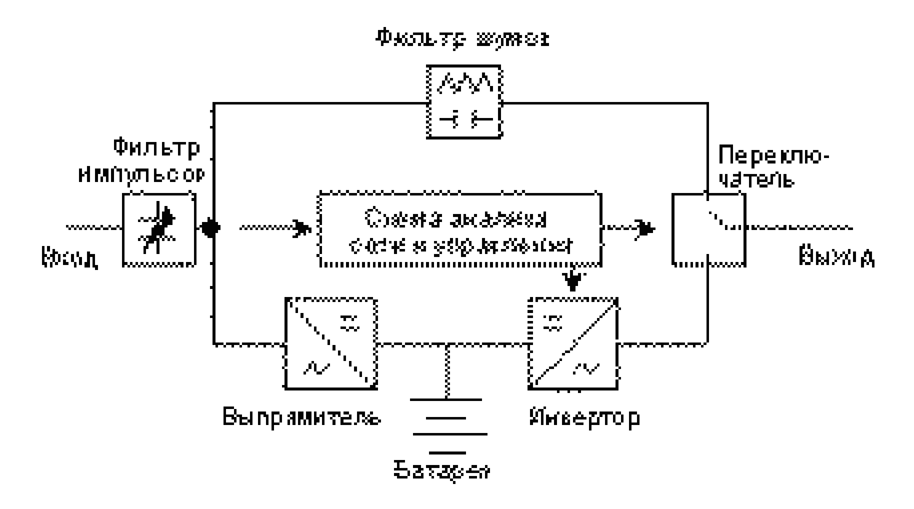


Рис. 8. "Реальный" ИБП с переключением

Режимы работы ИБП с переключением

ИБП с переключением может находиться в двух основных режимах работы
Работа от сети

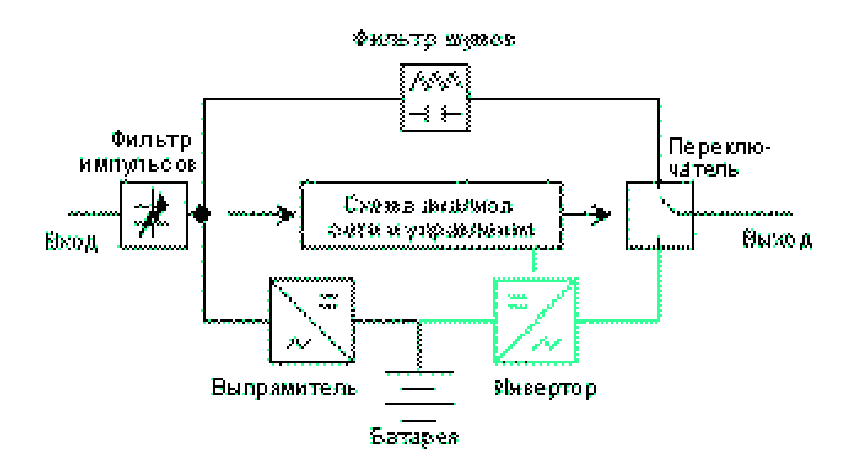


Рис. 9. Работа ИБП с переключением от сети

На режиме работы от сети (нормальная работа) напряжение от входа ИБП поступает к фильтру импульсов, шунтирующему очень короткие, наносекундные высоковольтные импульсы (они могут, например, возникать при ударе молнии рядом с линией электропередач). Далее основной поток мощности следует к фильтру шумов, ослабляющему присутствующие в сети радиочастотные (100 кГц-10 МГц) колебания. После фильтра напряжение через переключатель поступает на выход ИБП, к нагрузке. От фильтра импульсов часть мощности поступает к выпрямителю, который в этом ИБП выполняет только одну функцию: зарядного устройства. Батарея на режиме работы от сети получает зарядный ток, если она разряжена, или поддерживается в заряженном состоянии под так называемым плавающим потенциалом. Инвертор ИБП с переключением во время работы от сети находится в состоянии ожидания команды на включение. Его подключение к работе подготавливается непрерывным слежением за фазой сетевого напряжения. Когда блок анализа напряжения сочтет сетевое напряжение "неправильным" (а этот критерий, вообще говоря, разный для разных моделей ИБП), ИБП переключается на режим работы от батареи. Инвертор ИБП начинает питать нагрузку напряжением, разряжая батарею. Для работы подключенного к ИБП оборудования очень

важно, чтобы напряжение, генерируемое инвертором, было синфазно (т.е. совпадало по фазе) с напряжением сети.

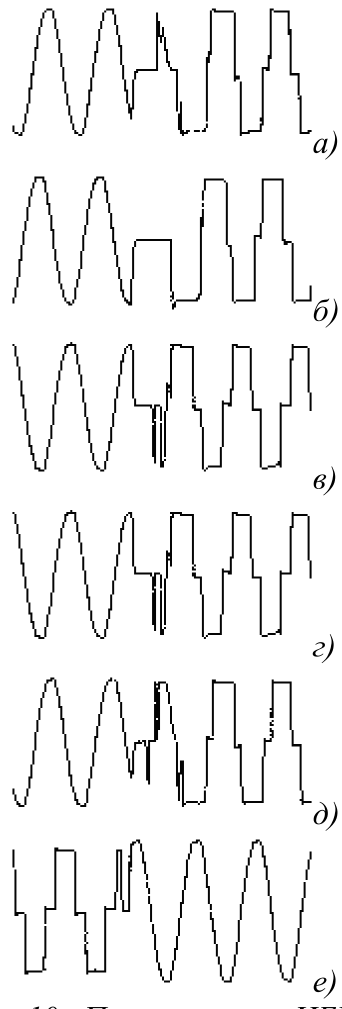


Рис. 10. Переключение ИБП с переключением с режима работы от сети на режим работы от батареи (а-д) и обратно (е)

На рис. 10 приведены осциллограммы переключения (для хорошего ИБП) с режима работы от сети на режим работы от батареи и обратно. Осциллограмм сеть-батарея несколько, поскольку переключение происходит в случайный момент времени (когда пропадает напряжение в сети), а вид осциллограммы, как видно на рисунке, зависит от фазы напряжения в момент переключения. Осциллограмма батарея сеть приведена только одна, поскольку это переключение происходит всегда при одной фазе напряжения. На рисунке видно, что напряжения до и после переключения синфазные: длительности полупериодов после переключения равны длительностям полупериодов после переключения. Более того, даже полупериод, во время которого произошло само переключение, имеет такую же длительность.

Работа от батареи

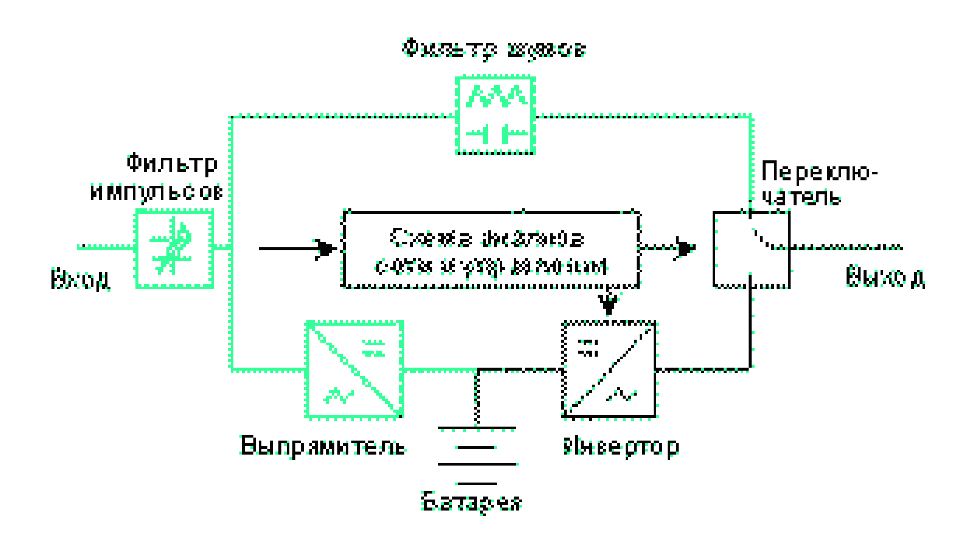


Рис. 11. Работа ИБП с переключением от батареи

На режиме работы от батареи переключатель подключает к выходу ИБП инвертор, который запускается по команде блока анализа сети. Запуск инвертора происходит таким образом, чтобы фаза колебаний, вырабатываемых инвертором и фаза синусоиды только что исчезнувшей сети совпадали. Подзарядка батареи на этом режиме как правило не происходит (если даже в сети есть напряжение, то оно слишком мало, чтобы заряжать батарею). Схема анализа сети постоянно находится в работе и, если напряжение сети становится нормальным, переключает ИБП на режим работы от сети. Батарея поддерживает работу нагрузки в течение некоторого времени, которое зависит от мощности нагрузки, номинальной емкости батареи, ее возраста и заряженности. После исчерпания заряда батареи, схема управления ИБП, которая следит за разрядом батареи, подает команду на отключение нагрузки. Если через некоторое время напряжение в сети становится нормальным, ИБП с переключением возвращается в режим работы от сети и начинает подзаряд своей батареи. Переключение на режим работы от сети происходит не сразу после восстановления напряжения.

Вспомним, что переключение ИБП на режим работы от батареи происходило так, чтобы напряжения инвертора и сети были синфазными. Для этого начальная фаза инвертора "подгонялась" под фазу сетевого напряжения в момент его пропадания или уменьшения ниже предельного уровня. При переключении с режима работы от батареи на режим работы от сети тоже нужно постараться сделать напряжения синфазными. Но мы лишены возможности регулировать фазу сетевого напряжения (или, вернее, это слишком сложно и дорого). Поэтому синхронизация сетевого напряжения с выходным напряжением инвертора происходит по другому. За счет того, что частота инвертора не совпадает с частотой сети (пусть даже на сотую часть Герца), происходит непрерывное изменение разности фаз между напряжением инвертора и напряжением сети. В момент, когда фазы напряжений совпадут, схема анализа сети подает команду на переключение. Срабатывает переключатель, подключающий нагрузку к сети, а инвертор отключается.

Теперь рассмотрим подробнее работу отдельных элементов ИБП

Выпрямитель

Функции выпрямителя у этого типа источников бесперебойного питания ограничиваются только автоматическим зарядом батареи и поддержанием ее заряда. Как правило зарядные устройства реализуют традиционный I-U алгоритм заряда. При полностью разряженной батарее выпрямитель заряжает ее постоянным током. Величина этого тока (в амперах) обычно выбирается численно равной от 1/4 до 1/15 номинальной емкости батареи (в ампер-часах). После достижения напряжения на батарее примерно 2.27 В на элемент аккумулятора или 13.8 В на 12-ти вольтовый аккумулятор (для свинцовых батарей) выпрямитель переходит на режим стабилизации напряжения. При этом напряжении батарея не разряжается и не заряжается. Поддержание батареи под "плавающим потенциалом" или "напряжением плавающего заряда" позволяет компенсировать саморазряд батареи и не допустить ее перезаряда. Напряжение плавающего заряда поддерживается на батарее постоянным все время, пока ИБП включен. Многие ИБП продолжают заряд батареи, даже если их сетевой выключатель находится в положении "Выключено". Это позволяет поддерживать батарею в заряженном состоянии, если ИБП не используется.

Температурная компенсация напряжения плавающего заряда, как правило не предусмотрена. Это не является серьезным недостатком для ИБП этого типа по двум причинам.

Во-первых ИБП с переключением имеют небольшую мощность (не более 1.5 кВА) и низкий уровень шума. Поэтому их, как правило, устанавливают в непосредственной близости от защищаемого компьютера (т.е. в помещении с нормальной температурой).

Во-вторых, они имеют высокий КПД. Вследствие этого температура находящейся внутри корпуса батареи почти не отличается от комнатной и температурная компенсация в большинстве случаев не нужна. Время заряда разряженной на 50 % батареи до достижения 90 % заряда изменяется от 6 до 15 часов для разных моделей ИБП. Несколько подробнее параметры зарядных устройств рассмотрены в главе 9.

Батарея

ИБП с переключением оснащаются батареями на основе необслуживаемых свинцовых кислотных аккумуляторов. Только отдельные образцы ИБП этого типа (в основном малоизвестных производителей) имеют другие батареи (например никель-кадмиевые). Напряжение батарей для разных моделей ИБП изменяется от 6 до 48 В при емкости от 6 до примерно 20 ампер-часов. Увеличение времени автономного режима за счет установки дополнительных батарей для ИБП этого типа как правило не предусматривается, хотя есть и исключения.

Зарядные устройства хороших ИБП очень аккуратно обращаются с батареей. Поэтому ресурс батарей ИБП ведущих производителей зависит только от условий эксплуатации (см. главу 9) и изменяется от 3 до 6 лет.

Инвертор

В ИБП с переключением используются транзисторные инверторы. Выходное напряжение инвертора имеет вид прямоугольных импульсов с паузами. Обычно производители ИБП называют этот тип колебаний "ступенчатым приближением к синусоиде" и заявляют, что для всех типов нагрузки такое напряжение практически эквивалентно синусоидальному. Для того, чтобы это было так (или хотя бы почти так), некоторые параметры прямоугольных колебаний, определяющие их величину и форму, должны совпадать с соответствующими параметрами синусоиды (см. главу 8). Практически это почти никогда не соблюдается. Длительность паузы между

положительным и отрицательным импульсами и амплитуда напряжения может быть совершенно разной для ИБП разных производителей. Кроме того она еще может изменяться у одного и того же ИБП при изменении напряжения на батарее и нагрузки. Для компьютерных нагрузок и для электропитания других электронных устройств, оснащенных импульсными блоками питания, неправильная длительность паузы не имеет никакого значения.

Возможность применения ИБП с переключением для защиты других потребителей (например с трансформаторными блоками питания) вообще говоря не совсем очевидна заранее и требует подробного анализа в каждом конкретном случае. Но обычно этот вопрос решается положительно.

Схема управления ИБП и анализа сети

В основном ИБП с переключением управляются чисто аналоговыми схемами, хотя в последние годы идет процесс постепенного перехода на микропроцессорное управление даже такими простыми приборами, как ИБП с переключением. Схема анализа сети измеряет среднее выпрямленное значение напряжения сети и выдает команды на переключение с режима на режим в зависимости от его величины. Когда напряжение сети падает или пропадает совсем, схема анализа сети подает команду на переключение ИБП на режим работы от батареи. Если напряжение становится выше, ИБП снова начинает работать от сети. Для устойчивости работы ИБП на режиме, ИБП должен иметь небольшой (обычно несколько вольт) гистерезис характеристики переключения. Следовательно, если переключение с режима работы от сети на режим работы от батареи производится, например, при напряжении 185 В, то обратное переключение должно происходить при напряжении 188-192 В. Некоторые старые российские ИБП в силу схемных особенностей в случае неправильной регулировки на заводе (т.е. брака) могут не иметь такого гистерезиса. Это приводит к тому, что если сетевое напряжение принимает граничное значение, то ИБП начинает непрерывно переключаться с сети на батарею и обратно. Нескольких минут работы в таком режиме достаточно для разрушения контактов переключающего реле. Большинство ИБП с переключением реагируют только на снижение напряжения, т.е. переключаются на работу от батареи при достижении напряжением сети некоторого граничного значения в диапазоне 200-160 В. Только некоторые ИБП с переключением реагируют также и на повышение напряжения, т.е. переключаются на работу от батареи при достижении сетевым напряжением некоторого граничного значения в диапазоне 250-290 В.

Эта функция ИБП безусловно полезна. Однако если вы используете ИБП с переключением для защиты персонального компьютера с импульсным блоком питания, то она не всегда является безусловно необходимой. Хорошо спроектированные импульсные блоки питания работоспособны при очень высоких напряжениях. Схема управления ИБП следит за состоянием батареи ИБП. Когда батарея разряжается полностью (напряжение на элементе свинцовой кислотной батареи 1.7-1.75 В) блок управления снимает напряжение с нагрузки. Это необходимо для предотвращения глубокого разряда батареи. К сожалению большинство ИБП даже после отключения нагрузки продолжают расходовать энергию батареи для питания небольшой части своей схемы. Ток разряда батареи в этом случае очень мал, но если разряд продолжается долго, то батарея достигает состояния глубокого разряда, после которого ее можно только выбросить. Поэтому, если ИБП сам отключил нагрузку в результате разряда батареи (а напряжение в сети не появилось), ИБП следует немедленно выключить, и включать только после появления напряжения в сети.

Желательно выключать компьютер или другую нагрузку ИБП любого типа заранее, не доводя до автоматического отключения. Это позволит заметно увеличить ресурс батареи и (что еще важнее) сохранить часть заряда батареи для следующего сбоя питания.

Переключатель

Для переключения ИБП с режима работы от сети на режим работы от батареи используются быстродействующие реле. Время срабатывания таких реле составляет примерно 2-5 мс. Это позволяет обеспечить полное время реакции ИБП на сбой электрической сети 3-6 мс, включая сюда и время обнаружения сбоя.

Блоки питания первых персональных компьютеров (и особенно первых клонов ПК) были довольно чувствительны к разрыву электропитания. Для защиты некоторых из них могли использоваться только on-line ИБП, не имеющие разрыва электропитания. Современные компьютеры не так чувствительны.

Согласно независимым исследованиям (в том числе проведенным компьютерными журналами) компьютеры ведущих производителей, таких, как IBM, Compaq могут выдерживать разрывы электропитания длительностью 50-100 мс и более. Ассоциация производителей компьютеров производственного назначения (CBEMA) рекомендовала производителям компьютерного оборудования предусмотреть возможность работы своей техники с разрывами электропитания длительностью не менее 8.3 мс. Эта рекомендация действительна для США, где напряжение в сети имеет частоту 60 Гц (8.3 мс равны длительности половины периода синусоиды частотой 60 Гц). Соответствующая рекомендация для Европы (в том числе для России) должна предусматривать допустимую длительность разрыва питания 10 мс.

Согласно российскому стандарту (см. главу 1) компьютеры должны выдерживать полное отключение напряжения на время не менее 20 мс (компьютеры группы I по устойчивости к воздействию). Если производитель компьютера претендует на соответствие его оборудования группе II того же стандарта, то компьютер должен выдерживать полное отключение напряжения длительностью 100 мс. Опыт эксплуатации многих тысяч ИБП с переключением в России показывает, что компьютеров, которые не выдерживали бы разрыв электропитания 2-4 мс в России нет или, во всяком случае, крайне мало. Во всяком случае я о них никогда не слышал.

Некоторые ИБП с переключением, разработанные в России, имеют разрыв электропитания длительностью до 15-20 мс. Тем не менее мне только однажды пришлось видеть компьютер, который не мог выдержать такой разрыв.

Фильтр импульсов

Для уменьшения амплитуды высоковольтных импульсов в ИБП с переключением используются фильтры, основной (а чаще всего единственной) частью которых является металл-оксидный варистор. Варистор включают параллельно входу ИБП. Если напряжение на входе ИБП находится в пределах допустимого, варистор имеет большое внутреннее сопротивление и не влияет на работу ИБП и его нагрузки. Практически он работает как конденсатор небольшой емкости. Если на вход ИБП поступает импульс и напряжение на входе ИБП превышает некоторое предельное (обычно 400-600 В), внутреннее сопротивление варистора резко уменьшается и он шунтирует (замыкает) вход ИБП. При этом большие (до нескольких килоампер) импульсные токи протекают через варистор, не поступая в ИБП и не повреждая подключенное к нему оборудование. Непосредственно на выходе варистора во время подавления импульса могут возникать переходные процессы с импульсными напряжениями порядка нескольких десятков вольт. Эти импульсы затем ослабляются фильтром шумов, а в некоторых моделях ИБП специальной цепью.

Максимальное напряжение импульса, которое выдерживает варистор, обычно превышает 3000 В (т.е. соответствует стандарту IEEE 587 категория А) и для некоторых моделей может превышать 6000 В (в соответствии с категорией В того же стандарта).

Максимальные импульсные токи, которые могут безопасно протекать через варистор составляют 2000-6000 А. Естественно варистор размером со среднюю монету не может

долго выдерживать протекание таких больших токов. Наиболее важной характеристикой варисторной защиты является максимальная энергия импульса, которую варистор может безопасно поглотить. Производители ИБП не всегда указывают эту величину. Обычно она изменяется от 80 до 500 Дж для ИБП разных мощностей и производителей. Соответственно длительность импульса, который способен поглотить варистор, при максимальном токе 6000 А составляет единицы или десятки микросекунд. Варисторная защита от импульсов относится к частям ИБП, имеющим принципиально ограниченный ресурс. При нормальной работе варисторы постепенно "выгорают" в результате поглощения даже небольших имульсов. Ресурс варисторной защиты невозможно определить однозначно. Он зависит от типа используемого варистора, количества и суммарной энергии поглощенных им импульсов, использования в схеме ИБП дополнительных средств подавления импульсов и т.д.

Характерный срок службы варисторной защиты видимо можно определить в 1-4 года в зависимости от модели ИБП и условий эксплуатации. Следует иметь в виду: ИБП с варисторной защитой и без гальванической развязки не предназначены (что бы не заявляли их производители) для работы в действительно жестких условиях (на заводах с мощным оборудованием, подключенным в одну сеть вместе с компьютерами, в полевых условиях, особенно при работе с плохими дизельными генераторами, в локальных сетях большой протяженности, расположенных в разных зданиях и т.д.).

В случае, если на варистор поступает импульс, энергия которого превышает предельное значение, характерное для текущего состояния варистора, варистор выходит из строя. После этого входная цепь ИБП может остаться закороченной. Это иногда приводит к разрыву корпуса варистора. Разрыв сопровождается громким хлопком (и короткое замыкание иногда снимается). Конкуренты производителей ИБП с переключением радостно злорадствуют: их ИБП взорвался!

Фильтр шумов

Для фильтрации шумов используются R-C или L-C фильтры, свободно пропускающие низкочастотные колебания с частотой близкой к 50 Гц и оказывающие заметное сопротивление распространению колебаний намного более высокой частоты. Как правило производители не приводят подробные характеристики фильтров, а иногда просто указывают: "ИБП производит постоянную фильтрацию шумов". По разрозненным данным фирм производителей можно сделать вывод, что для лучших ИБП с переключением подавление шумов достигает 30-45 дБ для частот 1-10 МГц.

Для большинства устройств видимо характерно подавление шумов 8-30 дБ на частотах 100 кГц-10 МГц.

Порт для связи с компьютером

Многие ИБП с переключением, мощность которых превышает 300 ВА, имеют один порт для связи с компьютером. Эти порты предназначены для передачи простейших сигналов к компьютеру и получения аналогичных сигналов от него к ИБП. Типичный набор сигналов (которым дело, как правило, и ограничивается) соответствует стандарту Novell или IBM AS400. Он включает следующие сигналы, подаваемые ИБП:

- ИБП работает от сети;
- ИБП работает от батареи;
- батарея разряжена.

От компьютера к ИБП может поступить только один сигнал: на выключение нагрузки и самого ИБП.

В последнее время некоторые ИБП имеют последовательный порт USB вместо RS232. Характер передаваемых в порт сигналов при этом не изменяется.

Индикатор режима работы и сигнализации

На панели ИБП с переключением при работе от сети обычно светится зеленый светодиод. Иногда он имеет маркировку "Сеть" или "Line". В некоторых моделях ИБП он встроен в клавишу включения. На ИБП с жидкокристаллическим дисплеем режим работы ИБП индицируется также на дисплее. Переключение ИБП на режим работы от батареи у некоторых моделей сопровождается прекращением свечения зеленого светодиода или изменением его цвета на красный. Кроме того во время работы от батареи ИБП периодически (раз в 5-30 секунд) издают звуковой сигнал. У большинства моделей ИБП есть клавиша отключения звукового сигнала. Работа этой клавиши как правило блокируется (т.е. звуковой сигнал снова включается), если батарея ИБП подходит к определенной степени разряда. У некоторых моделей ИБП эту степень разряда можно изменить с помощью настроечных переключателей. При достижения упомянутой степени разряда батареи некоторые модели ИБП меняют тон или длительность звукового сигнала (например он может начать звучать непрерывно). Одновременно ИБП, оснащенный портом для связи с компьютером, подает компьютеру сигнал "батарея разряжена". В случае, если к ИБП подключена слишком большая нагрузка, большинство ИБП подают продолжительный звуковой сигнал и отключают напряжение от нагрузки. На некоторых ИБП имеется автоматический предохранитель, являющийся следующей ступенью защиты от перегрузки. И, наконец, есть ИБП, которые реагируют на перегрузку молчаливым перегоранием плавкого предохранителя. К счастью у большинства из них он доступен пользователю (например может находиться во входной розетке).

Большинство ИБП с переключением мощностью 250 ВА плохо работают с компьютерами и мониторами, имеющим большой стартовый заброс тока (более 3-5 для разных моделей ИБП). Включение компьютера, подключенного к ИБП может вызвать сигнал перегрузки (а у некоторых моделей перегорание предохранителя), сопряженный со снятием напряжения с компьютера. Короче говоря, ваш компьютер не включается с первого раза. В этом случае вы должны выключить компьютер и ИБП и повторить включение. Второе включение компьютера (если оно следует за первым с паузой не более секунды) обычно бывает успешным.

Пульт управления

На передней панели большинства ИБП с переключением расположен один сетевой выключатель. В подавляющем большинстве случаев это единственный элемент пульта управления. На некоторых ИБП имеются также кнопка "тест". Ее нажатие приводит к принудительному переключению ИБП на работу от батареи. Эта клавиша очень полезна. Ее наличие очень упрощает регламентную проверку работоспособности батареи ИБП. Такую проверку (без клавиши "тест" ее можно проводить, вынимая вилку ИБП из сетевой розетки) нужно проводить примерно 1 раз в месяц. Клавиша отключения звукового сигнала, имеющаяся на некоторых ИБП, позволяет после переключения ИБП на работу от батареи некоторое время поработать на компьютере не отвлекаясь постоянно из-за писка ИБП.

На некоторых ИБП имеется также клавиша, инициирующая "холодный" запуск ИБП (см. раздел "Дополнительные возможности ...").

Характеристики ИБП с переключением

Мощность

Каждая из солидных фирм-производителей ИБП с переключением выпускает ряд ИБП одной и той же серии разных мощностей. Наименее мощные ИБП имеют мощность 250 ВА, наиболее мощные – мощность 1250 ВА. Каждая из фирм выбирает свой ряд мощностей, исходя видимо из соображений маркетинга своей продукции. Наиболее часто

встречается ряд 250, 400, 600 ВА. В последние годы многие фирмы увеличили минимальную мощность БП до 300 ВА. Ограничение максимальной мощности этих ИБП объясняется трудностями, связанными с переключением электропитания чувствительного оборудования под нагрузкой. В момент переключения возможно образование дуги между электродами. Борьба с этим явлением требует специальных и не дешевых мер.

КПД

ИБП с переключением имеют максимально возможный для ИБП коэффициент полезного действия. На основном рабочем режиме (работа от сети) ИБП расходует энергию только для подзаряда батареи и питания схемы управления. Схема потребляет не более 1-2% номинальной мощности. На заряд полностью разряженной батареи расходуется еще 5-10% номинальной мощности ИБП. Таким образом при нагрузке 100% от номинальной и заряженной батарее ИБП с переключением имеет КПД 98-99%. При нагрузке 50% от номинальной и разряженной батарее его КПД примерно равен 90%.

Время работы от батарей

ИБП с переключением обычно ориентированы на кратковременную работу от батареи. Времени работы от батареи должно быть достаточно для корректного завершения работы программ и закрытия файлов. Обычно при полной (номинальной) нагрузке ИБП, имеющий полностью заряженную новую батарею работает от батареи 6-15 минут. Если нагрузка меньше номинальной, то время работы ИБП от батареи увеличивается. Зависимость времени работы от нагрузки нелинейная: время работы увеличивается быстрее уменьшения нагрузки. Эта зависимость несколько подробнее обсуждается в главе 8 применительно ко всем типам ИБП.

Подключение дополнительных аккумуляторов к таким ИБП не предусматривается. Тепловой режим ИБП с переключением рассчитан таким образом, чтобы ИБП мог работать работать от батареи только ограниченное время. Попытки подключения внешних аккумуляторов могут привести к выходу ИБП из строя.

Холодный старт

Большинство ИБП с переключением включаются только, если на их входе есть напряжение, и оно находится в пределах допустимого. Если на входе ИБП нет напряжения, или оно находится вне допустимых пределов, ИБП не включается. Некоторые ИБП имеют так называемый "холодный старт", т.е. имеют возможность включения при отсутствии напряжения в сети. Обычно для реализации этой функции нужно нажать какую-либо клавишу одновременно с включением сетевого выключателя ИБП. Эта функция не всегда описана в руководстве для пользователя ИБП. Например для очень распространенных Back-UPS фирмы APC (кроме модели на 250 ВА), выпускавшихся до 1998 года, для "холодного старта" нужно включить сетевой тумблер, одновременно удерживая клавишу отключения звукового сигнала (отмеченную колокольчиком). Наличие этой функции весьма полезно, так как дает возможность запустить на несколько минут ваше оборудование (компьютер, телефон или факс) даже если в сети нет напряжения. "Холодным стартом" не следует злоупотреблять, поскольку этот режим является весьма напряженным для ИБП.

Рекомендуется пользоваться "холодным стартом" в правильной последовательности: сначала запустить ИБП, и только через 5-10 секунд после этого включить ваше оборудование. За это время ваш ИБП выйдет на режим, находясь в щадящих условиях холостого хода. Батарея за это время практически не разрядится по той же причине (нет

нагрузки) и полное время работы от батареи останется практически тем же, как было бы в случае, если вы включили бы компьютер или другую вашу нагрузку сразу.

Преимущества ИБП с переключением

Основное, и почти единственное, преимущество ИБП с переключением – это низкая цена. Цена ИБП с переключением в Москве изменяется от 0.1 до 0.3 доллара за вольт-ампер мощности. Другое преимущество ИБП с переключением – высокий КПД, само по себе не имеет определяющего значения, поскольку КПД других типов ИБП тоже довольно велики. И вообще, КПД для ИБП не главная характеристика. Тем не менее есть одно имеющее значение следствие высокого КПД – это низкое тепловыделение внутри корпуса. Из-за низкого тепловыделения эти ИБП не требуют принудительного охлаждения (с помощью вентиляторов) и, следовательно, меньше шумят. На режиме работы от сети хорошие ИБП с переключением практически бесшумны. Шум от работы инвертора присутствует только во время работы ИБП от батареи (т.е. всего несколько минут) и тоже не слишком слышен (опять же у хороших ИБП). Низкий уровень шума позволяет устанавливать ИБП с переключением непосредственно рядом с защищаемым компьютером.

Недостатки ИБП с переключением

ИБП с переключением во время работы от сети обеспечивают компьютерам защиту только от слабых возмущений электрической сети. Можно сказать, что их фильтры "чистят чистое". Эта особенность ИБП с переключением делает возможным их применение только в условиях "хорошей" электрической сети, в которой время от времени случаются отключения электропитания . Вообще можно сказать (не сильно погрешив против истины): ИБП с переключением защищают только от одного вида сбоя электропитания: полного отключения напряжения. Не следует использовать эти ИБП при работе в условиях промышленного предприятия или в других случаях, когда в единую электрическую сеть включены компьютеры и мощное промышленное оборудование (станки, лифты, даже большие копировальные аппараты). Возможность применения ИБП с переключением в больших локальных сетях, расположенных в нескольких разных зданиях, каждый раз требует специального подтверждения.

Как правило в таких условиях требуется использовать ИБП с гальванической развязкой, которой лишены ИБП с переключением. Из-за несинусоидальности выходного сигнала и наличия разрыва электропитания, при переключении ИБП при с режима работы от батареи на режим работы от сети всегда наблюдается не слишком гладкий переходный процесс (см. рис. 10). При неблагоприятной фазе сетевого напряжения в момент переключения, блок питания персонального компьютера не сможет полностью сгладить скачок напряжения. В результате на материнскую плату компьютера будет подан импульс, амплитуда напряжения которого может достигнуть 400 мВ. Вследствие этого не рекомендуется использовать эти ИБП в ответственных случаях: для защиты файловых серверов, узловых коммуникационных компьютеров, компьютеров с очень дорогими данными, дорогих периферийных устройств типа цветных сканеров большого формата и т.д.

Сфера применения ИБП с переключением – защита отдельных персональных компьютеров, рабочих станций небольших локальных сетей, дешевых периферийных устройств, работающих в условиях обычного офиса. ИБП с переключением хороших производителей отлично работают в этих условиях. Сотни тысяч ИБП с переключением, уже установленных в России, доказывают это.

Глава 4. ИБП взаимодействующий с сетью (line-interactive UPS)

На рисунке 12 представлена схема ИБП, взаимодействующего с сетью. И опять, как и для ИБП с переключением, по сравнению с упрощенной схемой у нас появились фильтры шумов и импульсов и блок анализа сети и управления.

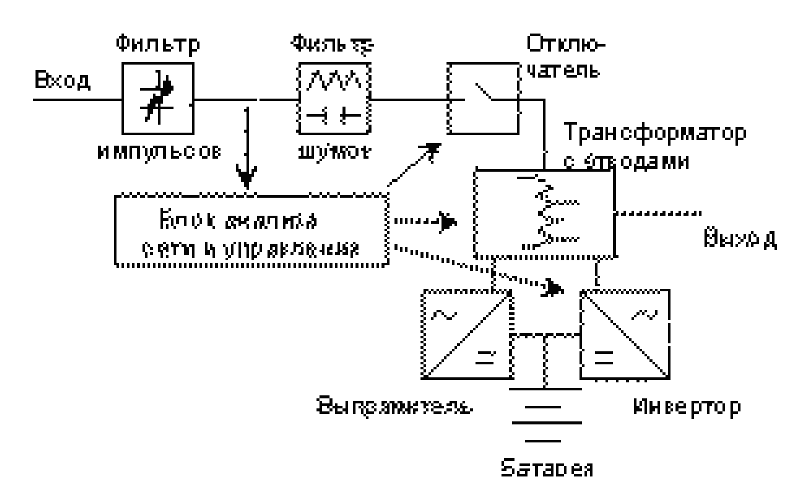


Рис. 12. Блок-схема ИБП, взаимодействующего с сетью

Как видно, эта схема очень похожа на схему ИБП с переключением. Основные отличия: трансформатор постоянно подключен к нагрузке (и постоянно работает), и по другому расположен переключатель. ИБП, взаимодействующий с сетью имеет два основных режима работы: работа от сети и работа от батареи...

Работа от сети и переключение

На режиме работы от электрической сети напряжение фильтруется от шумов и импульсов и поступает к нагрузке. Часть мощности расходуется на зарядку батареи ИБП или поддержание ее в заряженном состоянии. Блок анализа напряжения контролирует форму и амплитуду напряжения сети. В случае, если напряжение сети становится слишком низким (например ниже 195 В) или (для некоторых моделей) слишком высоким, блок анализа сети пытается скорректировать величину напряжения, переключая отводы автотрансформатора. Напряжение на выходе ИБП повышается или понижается, приближаясь к номинальному значению. Если напряжение становится настолько низким, что переключение отводов уже плохо помогает, то ИБП переключается на работу от батареи.

Если на вход ИБП поступает напряжение искаженной формы, блок анализа сети также переключает ИБП на режим работы от батареи. Процесс переключения с режима работа от сети на режим работы от батареи (и обратно) для ИБП с синусоидальным выходным напряжением представлен на рисунке 13.

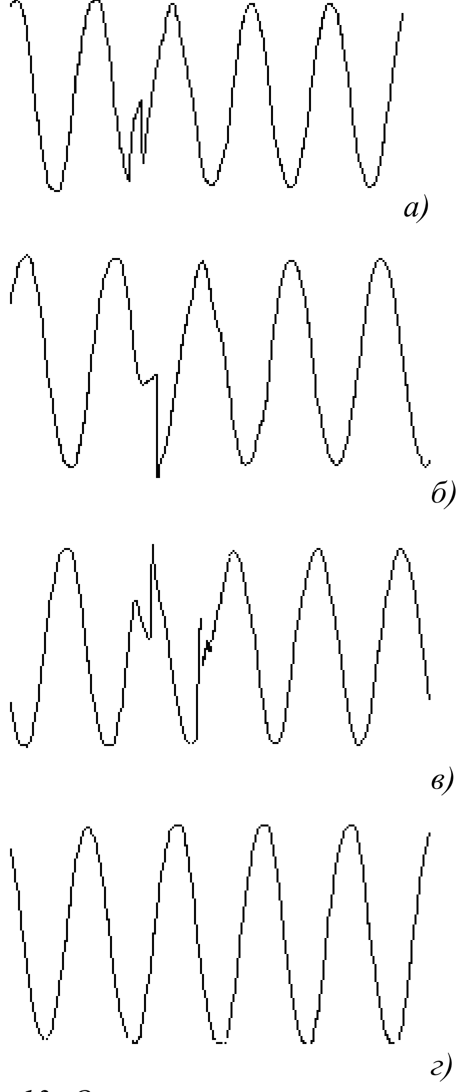


Рис. 13. Осциллограммы переключения "сеть-батарея" (а, б, в) и "батарея-сеть" (г) для ИБП, взаимодействующего с сетью

Переключение "сеть-батарея" (см. рис. 13 а, б и в) происходит значительно более гладко, чем у ИБП с переключением прежде всего потому, что совпадают формы кривой напряжения на обоих режимах работы. Сам процесс переключояения (вместе с временем обнаружения сбоя) занимает менее четверти периода синусоиды (примерно 3-4 мс). В зависимости от фазы напряжения в момент сбоя сети, сопутствующие переключению переходные процессы могут продолжаться до 20 мс, т.е. на протяжении периода синусоиды.

Для взаимодействующих с сетью ИБП, имеющих выходное напряжение в виде прямоугольников с паузами (или, как стыдливо их называют производители – со ступенчатым приближением к синусоиде) процесс перехода от одного режима к другому ничем не отличается от работы ИБП с переключением (см. рис. 10).

Режим работы от батарей

При переключении на режим работы от батареи, инвертор ИБП, постоянно подключенный к нагрузке, немедленно начинает вырабатывать переменное напряжение, синфазное напряжению сети. Сеть отключается от нагрузки переключателем, но остается под контролем блока анализа сети. Инвертор поддерживает напряжение на нагрузке в течение некоторого времени, зависящего от заряда батареи. Если сетевое напряжение за

это время не становится нормальным, после разряда батареи ИБП отключает нагрузку. Если во время работы от батареи, сетевое напряжение становится нормальным, ИБП готовится к переключению на батарею: начинает синхронизацию переменного напряжения инвертора с сетевой синусоидой. Частота напряжения на выходе инвертора и частота сети не совпадают совершенно точно. Поэтому разность фаз между напряжением сети и напряжением инвертора плавно меняется. Нагрузка в это время продолжает питаться от инвертора (питаемого в свою очередь батареей). И только в момент, когда фаза напряжения инвертора с заданной точностью (не хуже 2-5 градусов) совпадет с фазой сетевого напряжения, происходит переключение ИБП на работу от сети. Переключение (от момента восстановления напряжения в сети) может занять несколько секунд. Такая сложная процедура переключения хотя и затягивает само переключение, но для ИБП с синусоидальным выходным напряжением позволяет производить его очень мягко (см. рис. 13 г). В момент переключения не возникает никаких фазовых или амплитудных скачков. Компьютер во время переключения работает нормально, блок питания на испытывает импульсных нагрузок.

Предыдущий параграф относится к взаимодействующим с сетью ИБП, с синусоидальным выходным напряжением. Момент переключения для ИБП с выходным напряжением в виде прямоугольников с паузами ничем не отличается от работы ИБП с переключением.

Теперь рассмотрим чуть подробнее работу отдельных элементов ИБП

Выпрямитель

Выпрямитель ИБП с регулированием напряжения выполняет функцию автоматического зарядного устройства. Он заряжает батарею, если она разряжена, и поддерживает на ней напряжение плавающего заряда, если ее заряд близок к максимальному. В целом характеристики и функции выпрямителей большинства этих ИБП такие же, как у выпрямителей ИБП с переключением.

Наиболее распространен режим заряда батареи, при котором сначала батарея заряжается постоянным по величине (стабилизированным) током, а затем, при достижении некоторого заданного напряжения, стабилизированным напряжением. После того, как батарея будет заряжена, она поддерживается под постоянным напряжением (т.н. плавающим потенциалом или напряжением плавающего заряда – т.е. напряжением, при котором ток через батарею равен нулю). Зарядные устройства некоторых ИБП реализуют несколько более сложный алгоритм заряда батареи – импульсный. При импульсном режиме заряда зарядное устройство отключается после достижения полного заряда батареи и включается вновь только после того, как батарея разрядится (напряжение на ней упадет). Производители таких ИБП уверяют, что импульсный алгоритм заряда позволяет несколько продлить жизнь батарее. Производители батарей эту точку зрения обычно не поддерживают, заявляя, что их отличные аккумуляторы можно заряжать самыми простыми методами.

Выпрямители ИБП, специально предназначенных для длительной работы, отличаются большим зарядным током. Это позволяет им даже в случае подключения к ИБП дополнительной батареи большой емкости зарядить батарею за приемлемое время.

Некоторые производители ИБП, взаимодействующих с сетью, для получения маркетинговых преимуществ заявляют об очень малом времени подзаряда аккумуляторов (например 5-6 часов). Максимальный зарядный ток, а иногда и максимальное напряжение на батарее таких ИБП действительно превышают максимальные значения, установленные производителем аккумуляторов. Это нельзя признать преимуществом, поскольку более быстрый заряд может происходить за счет уменьшения ресурса батареи.

Батарея

Используются свинцовые кислотные герметичные необслуживаемые аккумуляторные батареи. Напряжение батареи от 6 до 48 В, емкость от 4 ампер-часов. Максимальная емкость батареи для обычных ИБП, с регулированием напряжения, (с временем работы от батареи при максимальной мощности 5-15 минут) может достигать примерно 20 ампер-часов.

Существуют модульные ИБП, специально предназначенные для длительной работы от батареи (в течение многих часов или даже нескольких суток). Они состоят из базового электронного блока, к которому может подключаться один блок батареи или несколько таких блоков. Суммарная емкость батареи, состоящей из нескольких модулей, может достигать сотен ампер-часов. Соответственно и длительность работы ИБП от батареи может достигать нескольких суток.

Инвертор

Инверторы взаимодействующих с сетью ИБП могут иметь синусоидальное выходное напряжение или выходное напряжение в виде меандра с паузой (как у ИБП с переключением).

Полный коэффициент гармонических искажений большинством производителей не указывается. Тем не менее в случае синусоидального выхода, при не предельных параметрах, искажения синусоиды вполне приемлемы (т.е. не превышают 5%).

Блок управления ИБП и анализа сети

Этот блок является пожалуй главным элементом ИБП с регулированием напряжения, отличающим его от ИБП с переключением. Для управления взаимодействующих с сетью ИБП обычно используются недорогие микропроцессоры, применение которых позволяет возложить на ИБП массу новых, дополнительных функций. Прежде всего, блок анализа может не просто измерять действующее значение напряжения сети (как делает управляющая схема ИБП с переключением), но постоянно следить за формой синусоиды. Для этого в состав блока анализа сети включают специальный элемент – аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Несколько раз за полупериод АЦП производит измерение мгновенного значения напряжения сети (см. рис. 14).

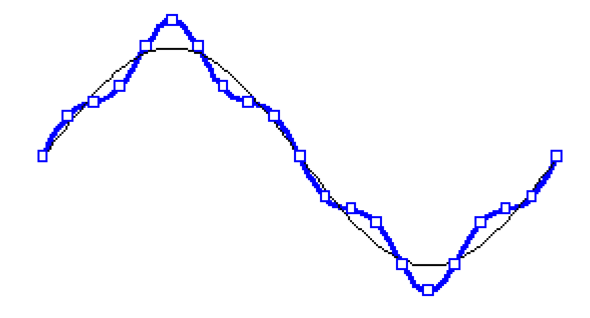


Рис. 14. ИБП, взаимодействующий с сетью, измеряет напряжение сети

АЦП преобразует результат измерения в цифровую форму и передает его для анализа микропроцессору ИБП. В памяти микропроцессора хранится образ идеальной синусоиды. Микропроцессор непрерывно сравнивает его с результатом измерения мгновенного значения напряжения. Для управления ИБП (а именно для выбора момента переключения с режима работы от сети на режим работы от батареи и обратно) используются довольно сложные критерии качества сети.

Напомним, что для ИБП с переключением единственным критерием, отличающим "хорошую" сеть от "плохой" было действующее значение напряжения. Взаимодействующий с сетью ИБП тоже принимает во внимание действующее значение напряжения сети, рассчитанное микропроцесоором ИБП на основании результатов измерения мгновенных значений напряжения. Но хороший ИБП, взаимодействующий с сетью, может следить не только за величиной действующего значения напряжения сети, и еще за несколькими параметрами синусоиды. Например, он может переключиться на работу от батареи, если:

- частота сети находится вне диапазона допустимых значений; отклонение мгновенного значения входного напряжения от идеальной синусоиды, имеющей номинальное напряжение, превышает 80 В;
- фазовый сдвиг между синусоидами (идеальной и реальной) превышает 2.5 градуса;
- имеется комбинация отклонения мгновенного значения напряжения и фазового сдвига, если значение выражения {(0.4 x фазовый сдвиг в градусах) + (0.025 x отклонение напряжения в процентах от номинала)} превышает единицу;
- действующее значение напряжения сети вышло за пределы программно установленного диапазона входных;
- мгновенное значение напряжения отклонилось от мгновенного напряжения идеальной синусоиды, хранящейся в памяти ИБП, на величину больше допустимой;
- действующее значение напряжения стало меньше или больше допустимого;
- в сети появился импульс, не погашенный до конца фильтром импульсов.

Приведем например перечень условий переключения на работу от батареи для одного из самых распространенных в России ИБП, взаимодействующих с сетью. ИБП переключается на работу от батареи, если:

- отклонение мгновенного значения входного напряжения от идеальной синусоиды, имеющей номинальное напряжение, превышает 80 В;
- фазовый сдвиг между синусоидами (идеальной и реальной) превышает 2.5 градуса;
- имеется комбинация отклонения мгновенного значения напряжения и фазового сдвига, если значение выражения {(0.4 x фазовый сдвиг в градусах) + (0.025 x отклонение напряжения в процентах от номинала)} превышает единицу;
- действующее значение напряжения сети вышло за пределы программно установленного диапазона входных напряжений.

Тщательный анализ электрической сети, производимый взаимодействующим с сетью ИБП имеет не только достоинства. Для компьютеров, оснащенных импульсным блоком питания (а именно они являются наиболее распространенной нагрузкой ИБП) форма синусоиды не имеет особенного значения. Они могут более или менее нормально работать имея на входе даже несинусоидальный сигнал (например напряжение, выдаваемое ИБП с переключением). Но попробуйте подключить вход хорошего взаимодействующего с сетью ИБП к выходу ИБП с переключением, работающего от батареи. Вы увидите, что ИБП, взаимодействующий с сетью, откажется работать. Такая, с позволения сказать, "сеть", слишком плоха для его чувствительного и умного блока анализа сети. Он немедленно перейдет на работу от батареи. Но компьютеры нормально работают, питаясь от ИБП с переключением. Стало быть иногда требования этих ИБП к сети можно считать чрезмерными. Например в Грузии, где электрическая сеть в первые годы независимости была сильно искажена, некоторые ИБП, взаимодействующие с сетью, не работали в режиме работы от сети, и сразу переключались на работу от батареи. Компьютеры и ИБП, построенные по другим схемам, работали нормально.

Важной функцией блока управления является отключение нагрузки после длительной работы от батареи, когда заряд батареи исчерпан почти полностью. Это позволяет сохранить работоспособность батареи. Микропроцессоры взаимодействующих с сетью ИБП могут выполнять массу дополнительных функций, таких, как измерение напряжения в сети, регистрацию сбоев и т.д. Об этом, и других вещах речь пойдет в разделе

"Дополнительные возможности ...". Переключатели, фильтры шумов и импульсов ИБП, взаимодействующих с сетью, устроены совершенно так же, как у ИБП с переключением. Они имеют примерно такие же характеристики. Поэтому я отсылаю интересующегося читателя к соответствующим разделам главы 3.

Порт для связи с компьютером

Все взаимодействующие с сетью ИБП имеют порт для связи с компьютером. Этот порт предназначен для передачи и приема сигналов релейного типа (они обычно реализованы с помощью открытого коллектора) и сигналов протокола RS232.

Набор "релейных" сигналов соответствует стандарту Novell или IBM AS400:

- ИБП работает от сети;
- ИБП работает от батареи;
- батарея разряжена.

От компьютера к ИБП может поступить только один сигнал: на выключение нагрузки.

Оснащенные микропроцессором ИБП, взаимодействующие с сетью, обладают возможностью передачи и приема цифровых сигналов в соответствии с протоколом RS232.

Могут передаваться сигналы:

- результаты измерения напряжения, тока и частоты;
- содержимое ячеек памяти ИБП (аварийные сообщения, время и даты аварийных сообщений).

Могут приниматься сигналы:

- сигналы для программной настройки параметров ИБП (напряжения переключения, чувствительности, имени ИБП и т.д.);
- команда отключения ИБП;
- сигналы для перезаписи содержимого ячеек памяти ИБП.

Некоторые современные ИБП кроме разъема для подключения к компьютеру имеют в корпусе отсек для установки дополнительных плат, выполняющих функции адаптера SNMP,.расширителя количества портов и т.д. Несколько подробнее эти устройства рассмотрены в главе 10.

Индикаторы и сигнализация

На передней панели ИБП, взаимодействующего с сетью, при работ от сети обычно светится зеленый светодиод. Переключение на работу от сети вызывает его выключение. Включается красный или желтый светодиодный индикатор (работа от батареи). Многие ИБП имеют светодиодный индикатор перегрузки (включается если нагрузка ИБП превышает номинальную) и состояния батареи (включается во время работы от батареи, если батарея старая или разряжена). Светодиодный или цифровой индикатор заряда батареи также довольно распространен у ИБП, взаимодействующих с сетью. Этот индикатор может работать постоянно или включаться по команде пользователя. Точность показаний индикаторов большинства ИБП невелика в связи со сложностью учета состояния батареи. Звуковая сигнализация включается при переключении на работу от батареи. Как правило, она может быть отключена, но включится снова после потери батареей большей части заряда.

Звуковой сигнал (другого тона или длительности) может также срабатывать при перегрузке.

Регулирование напряжения

ИБП, взаимодействующие с сетью, могут регулировать напряжение на своем выходе. Это регулирование осуществляется за счет переключения нагрузки на работу от повышающей или понижающей обмотки автотрансформатора (соответственно при снижении или повышении напряжения сети). Такое переключение у ИБП, взаимодействующих с сетью, происходит в два этапа. После того, как блок анализа сети обнаружит, например, что напряжение стало слишком маленьким (действующее значение напряжения сети меньше хранящегося в памяти ИБП предельного значения), происходит переключение ИБП на режим работы от батареи. Во время работы ИБП от батареи, происходит переключение обмоток трансформатора. Через 1-2 секунды ИБП снова переходит к работе от сети, но за это время уже произошло переключение, и ИБП начинает выдавать повышенное с помощью автотрансформатора напряжение. Усложнение алгоритма переключения необходимо для того, чтобы при переключении не возникали импульсные нагрузки. Ведь переключение взаимодействующих с сетью ИБП с режима работы от сети на режим работы от батареи и обратно происходит очень гладко, без значительных импульсов, даже при неблагоприятной фазе сетевого напряжения.

Это используется для регулирования напряжения и, несмотря на многочисленные переключения отводов автотрансформатора во время работы от сети, импульсные нагрузки на подключенные к ИБП компьютеры, не возникают.

Характеристики ИБП взаимодействующего с сетью

Мощность

Каждая фирма производитель ИБП выпускает несколько моделей ИБП взаимодействующих с сетью разных мощностей.

Максимальная мощность ИБП взаимодействующего с сетью видимо не превышает 12000 ВА. Это намного больше максимальной мощности ИБП с переключением. Увеличение мощности оказывается возможным за счет того, что переключение ИБП взаимодействующего с сетью на работу от батареи и обратно происходит гораздо плавнее (за счет постоянной синхронизации инвертора с сетью и синусоидального выходного напряжения). При таком переключении не возникают фазовые и амплитудные скачки. Это позволяет избежать сильной эрозии контактов переключателей.

КПД

Коэффициент полезного действия взаимодействующих с сетью ИБП имеет примерно такую же величину, как и у ИБП с переключением: до 99%.

Время работы от батареи

Обычные офисные ИБП взаимодействующие с сетью могут работать от батареи при номинальной нагрузке 5-15 минут. При уменьшении нагрузки время работы увеличивается несколько быстрее, чем уменьшается нагрузка.

Некоторые фирмы выпускают ИБП взаимодействующие с сетью, специально предназначенные для длительной работы от батареи. Максимальная длительность работы от батареи при полной нагрузке для таких ИБП может достигать нескольких дней. В этом случае единственным ограничением времени автономной работы ИБП является зарядное устройство, которое не в состоянии зарядить огромную батарею за разумное время.

Дополнительные возможности некоторых моделей ИБП, взаимодействующих с сетью

ИБП, взаимодействующий с сетью – это довольно сложный прибор, управляемый микропроцессором. Он может выполнять много не свойственных более старым моделям ИБП функций. Например многие взаимодействующие с сетью ИБП, используя возможности своего блока анализа сети могут производить элементарный мониторинг электрической сети. Для этой операции, кроме ИБП требуется специализированное математическое обеспечение (см. соответствующий раздел) и компьютер. Результаты измерений напряжения, тока нагрузки ИБП, частоты и иногда других параметров, произведенных в течение нескольких часов или даже дней записываются на винчестер компьютера. Эти данные могут в дальнейшем использоваться для построения графиков, анализа электрической сети и подбора оборудования для системы бесперебойного питания.

Многие ИБП, взаимодействующие с сетью, могут быть оснащены адаптером SNMP, с помощью которого можно управлять работой ИБП средствами локальной сети. Эти возможности подробнее рассмотрены в главе "Взаимодействие ИБП с внешними устройствами".

Преимущества ИБП, взаимодействующих с сетью

По сравнению с ИБП с переключением, ИБП, взаимодействующие с сетью имеет много преимуществ. Большая часть этих ИБП имеет синусоидальное выходное напряжение. Это позволяет радикально уменьшить импульсные нагрузки на блок питания компьютера при переключении ИБП с режима работы от сети на режим работы от батареи. Блок питания компьютера не пропускает к материнской плате компьютера никаких импульсов при работе от ИБП с синусоидальным выходным напряжением. Регулирование выходного напряжения очень полезная функция ИБП, взаимодействующего с сетью.

Даже ступенчатая стабилизация напряжения позволяет подключенному к ИБП оборудованию работать без перегрузок в довольно широком диапазоне входных напряжений. Переключение обмоток автотрансформатора ИБП с синусоидальным напряжением производится не непосредственно, а через режим работы от батареи. За счет некоторого усложнения процедуры переключения удается уменьшить импульсные нагрузки на подключенное к ИБП оборудование в момент переключения. Наличие микропроцессора позволяет считать лучшие ИБП взаимодействующие с сетью одними из наиболее функционально совершенных с точки зрения выполняемых ими дополнительных функций. По количеству сервисных возможностей (регистрация параметров, дистанционное управление, поддержка протокола SNMP и др.) им не много равных среди других типов ИБП.

Недостатки ИБП, взаимодействующих с сетью

Как и ИБП с переключением, ИБП, взаимодействующие с сетью, обеспечивают только слабую защиту от импульсов и шумов. Если в электрической сети возможно появление сильных шумов, импульсов, искажений формы или скачков напряжения, приходится использовать ИБП других типов.

Как уже отмечалось, тщательный анализ электрической сети, проводимый некоторыми из этих ИБП, иногда оказывается чрезмерно строгим. Компьютеры и другое оборудование работают от сети, которую ИБП, взаимодействующий с сетью счел не соответствующей его высоким требованиям, и, в то же время, не смог исправить.

Чем отличается Back-UPS от Smart-UPS

Каждый продавец источников бесперебойного питания отвечает на этот вопрос по несколько раз за день. Несмотря на море источников бесперебойного питания, продаваемых в России, именно это две модели используются наиболее часто, и наиболее часто являются предметом вопросов пользователей. Поэтому обойти этот вопрос просто невозможно. Различия между двумя ИБП приведены в таблице. Она относится только к упомянутым моделям фирмы APC, но может (осторожно и с оговорками) использоваться и при сравнении других ИБП с переключением и ИБП, взаимодействующих с сетью.

Свойство	Back-UPS	Smart-UPS
Форма выходного напряжения	Напряжение в виде прямоугольников с паузами	Синусоидальное напряжение (для моделей мощностью 700 ВА и более)
Реакция на уменьшение напряжения	ИБП переключается на работу от батареи	При уменьшении напряжения ниже 196 вольт ИБП поднимает напряжение на 12%, переключаясь на другой отвод автотрансформатора. При дальнейшем уменьшении напряжения ниже 176 вольт ИБП переключается на работу от батареи
Реакция на увеличение напряжения	Не реагирует	При увеличении напряжения выше 257 вольт ИБП понижает напряжение на 12%, переключаясь на другой отвод автотрансформатора. При дальнейшем увеличении напряжения выше 280 вольт ИБП переключается на работу от батареи
Переключение на работу от батареи и обратно	Несмотря на хорошую синхронизацию инвертора с сетью, при переключении возникает ступенчатое изменение напряжения, которое не всегда может быть полностью погашено блоком питания компьютера или другого, подключенного к ИБП устройства	Переключение сеть-батарея происходит более гладко. Возникающий провал напряжения как правило гасится блоком питания компьютера, и на материнскую плату подается постоянное напряжение без импульсов. Переключение батарея-сеть происходит практически незаметно
Возможности программной настройки	Отсуствуют	Настраиваются пределы переключения, задержки включения и выключения и т.д.
Автоматическое тестирование	Отсуствуют	При каждом включении или каждые 7 (или 14) суток при непрерывной работе

Надежность ИБП	Надежный и неприхотливый прибор	Надежен, чувствителен (иногда излишне) к фазовым и частотным искажениям напряжения
Надежность компьютерной системы, подключенной к ИБП	При использовании ИБП повышается за счет возможности работы во время отключений напряжения	Позволяет создать более надежную компьютерную систему за счет принудительного тестирования ИБП, чувствительности ИБП к малейшим искажениям напряжения. В плохих электрических сетях часто переходит на работу от батареи (защищая при этом оборудование) и разряжает ее
Взаимодествие с компьютером	Базовые функции – подает сигналы о переключении на работу от батареи, разряде батареи, принимает сигнал на отключение ИБП. Регистрирует основные события в электрической сети на диске компьютера	Кроме базовых функций, имеет массу дополнительных: включение и выключение по расписанию, регистрация напряжения в электрической сети и т.д.
Защита оборудования	Защищает оборудование от потери данных при отключении или значительном кратковременном уменьшении напряжения	Кроме функций Back-UPS защищает компьютер от выхода из строя при значительном повышении напряжения. Блок питания компьютера защищается от перегрузки при низких напряжениях и от части импульсных нагрузок
Назначение	Для защиты отдельных недорогих компьютеров, потеря данных или выход из строя которых не приводят к критическим для пользователя последствиям	Для защиты более дорогих (примерно до 5000 долларов) работающих отдельно компьютеров или недорогих файловых серверов, работающих в условиях хорошей электрической сети
Применение в очень плохих электрических сетях	Не рекомендуется	Не рекомендуется

Глава 5. Феррорезонансный ИБП

Феррорезонансные ИБП представлены в России единственной серией приборов. Это Ferrups фирмы Best Power Technology. Таким образом, задача рассмотрения этого типа ИБП упрощается и сводится к разговору о схеме и характеристиках этой серии ИБП.

На рисунке 15 представлена блок-схема феррорезонансного ИБП.

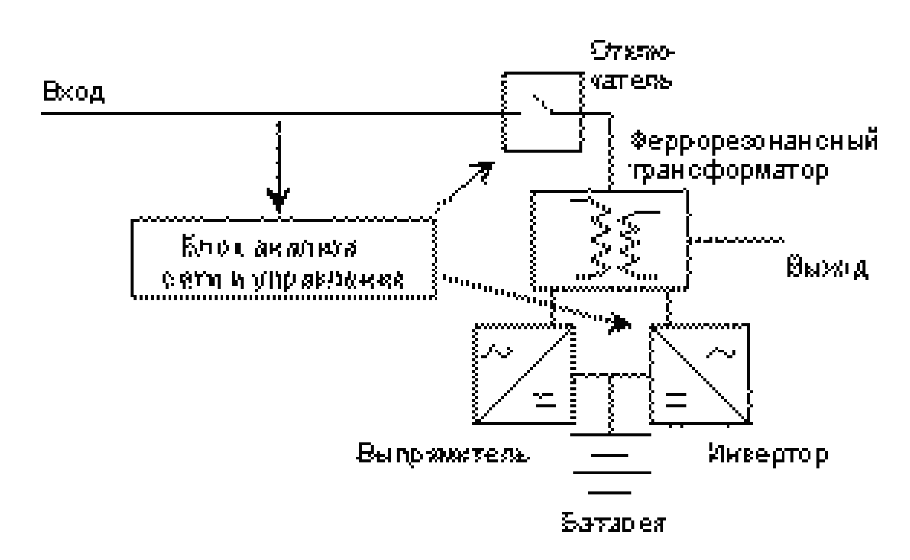


Рис. 15. Блок-схема феррорезонансного ИБП

Сравните эту схему со схемой ИБП, взаимодействующего с сетью. Вы увидите много общего. По сути есть одно главное отличие – вместо автотрансформатора с отводами в схеме феррорезонансного ИБП появился феррорезонансный трансформатор. Но его наличие радикально меняет работу ИБП и позволяет отнести Ferrups к другому классу устройств, обеспечивающему более высокий уровень защиты нагрузки. Поскольку именно трансформатор в значительной степени определяет свойства этого ИБП, рассмотрим сначала подробнее работу феррорезонансного трансформатора.

Свойства феррорезонансного трансформатора

Великолепное изобретение Джозефа Солы – феррорезонансный трансформатор – было изначально предназначено для работы в качестве стабилизатора напряжения. Первый патент (1938 года) на это устройство так и назывался: "трансформатор постоянного напряжения". Феррорезонансный трансформатор представляет собой совокупность двух магнитных цепей со слабой связью между ними. Выходная цепь содержит параллельный колебательный контур, подпитываемый от первичной цепи для компенсации мощности, поступающей в нагрузку. Сам процесс ферромагнитного резонанса вполне аналогичен резонансу в линейных цепях, состоящих из индуктивностей и емкостей. В нелинейной цепи, такой как феррорезонансный трансформатор, резонанс используется для уменьшения колебаний напряжения во вторичной цепи.

Любое магнитное устройство представляет собой прибор с нелинейной характеристикой. Если магнитный поток меньше некоторой граничной величины, то магнитное сопротивление прибора пропорционально магнитному потоку. Если же магнитный поток превышает предельное значение, то магнитное сопротивление прибора скачкообразно возрастает (говорят, что наступает насыщение). В феррорезонансном трансформаторе одна из магнитных цепей (выходная) находится в режиме насыщения, а другая (входная) не достигает насыщения. Большие изменения входного напряжения не

могут привести к значительным изменениям напряжения на выходе из-за насыщения выходной магнитной цепи . Все помнят, конечно, советские стабилизаторы напряжения, использовавшиеся для питания телевизоров в сельской местности, а зачастую и в городах. Они построены на основе феррорезонансного трансформатора. Эти стабилизаторы имели (и имеют до сих пор) отличный диапазон входных напряжений (от примерно 130 В при неполной нагрузке). Имеют они и множество недостатков. Главные из них – это огромные гармонические искажения выходного напряжения и неблагоприятный тепловой режим при отсутствии нагрузки.

Современные феррорезонансные трансформаторы устроены несколько сложнее, чем изобретенный в 1938 году. Они имеют нейтрализующую обмотку, специально предназначенную для уменьшения гармонических искажений выходного напряжения. Нейтрализующая обмотка устроена так, что в ней генерируются гармоники, находящиеся в противофазе к гармоникам в основной выходной обмотке. Правильный подбор числа витков и магнитных сопротивлений позволяет за счет последовательного соединения нейтрализующей и основной выходной обмоток полностью компенсировать гармонические искажения. Более того, даже если напряжение на входе имеет сильные гармонические искажения, то применение феррорезонансного трансформатора позволяет почти полностью уменьшить гармонические искажения выходного напряжения. Ток, потребляемый феррорезонансным трансформатором почти синусоидальный. Коэффициент гармонических искажений тока очень невелик.

Наиболее важно то, что коэффициент гармонических искажений остается небольшим независимо от того, какая нагрузка подключена к трансформатору: линейная или нелинейная. Таким свойством феррорезонансный трансформатор обязан слабой связи между входной и выходной магнитной цепями.

На рисунке 16 представлена основная для любого стабилизатора напряжения характеристика – зависимость выходного напряжения от напряжения на входе.

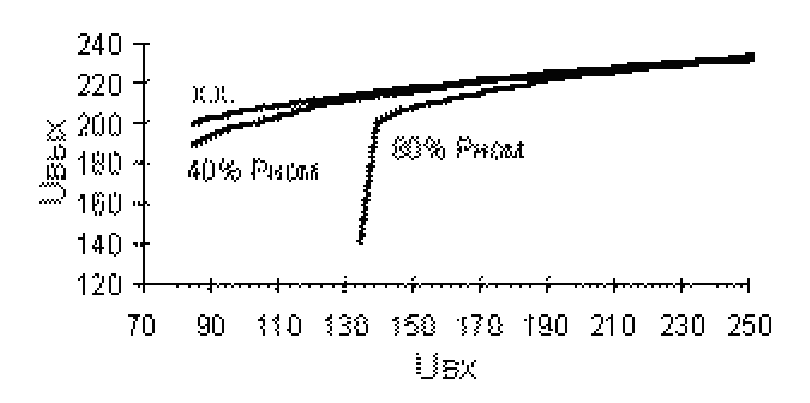


Рис. 16. Характеристика "вход-выход" для феррорезонансного трансформатора

Собственно на рисунке приведена половина симметричной характеристики: при повышении и понижении входного напряжения в окрестности средней точки феррорезонансный трансформатор ведет себя аналогично. При полной нагрузке феррорезонансный трансформатор обеспечивает стабилизацию напряжения с погрешностью около 1% при изменении напряжения на входе на 15% относительно номинального.Наибольшие возможности феррорезонансный трансформатор предоставляет, если его нагрузка меньше номинальной. Так, при нагрузке около 50%, диапазон входных напряжений невероятно расширяется: более, чем до 50% от номинального входного напряжения. Особенностью входной характеристики трансформатора является то, что даже на режиме холостого хода (отсутствия нагрузки) резонансная цепь феррорезонансного трансформатора находится под напряжением и

потребляет около 10% номинальной мощности трансформатора. Вообще в тепловом отношении режим холостого хода является наиболее напряженным для феррорезонансного трансформатора. Феррорезонансный трансформатор способен выдерживать любые перегрузки. При уменьшении сопротивления нагрузки выходное напряжение уменьшается и трансформатор не перегревается. Даже при коротком замыкании выходной ток трансформатора ограничивается примерно 150-200% от номинального тока. Суммарная мощность, потребляемая трансформатором от сети во время короткого замыкания, не превышает 10% от номинальной. Недостатком феррорезонансного трансформатора является зависимость выходного напряжения от частоты электрической сети. При изменении частоты на 1% выходное напряжение изменяется примерно на 1-1.5%. Увеличение частоты приводит к увеличению напряжения.

В феррорезонансном ИБП кроме стабилизации напряжения феррорезонансный трансформатор выполняет и несколько других функций. В случае сбоя электрической сети феррорезонансный трансформатор снабжает компьютер электричеством за счет энергии, накопленной в его магнитном поле. Это продолжается 8-16 миллисекунд. Этого времени достаточно для всех необходимых переключений и выхода инвертора на номинальный режим работы. Таким образом феррорезонансный ИБП обеспечивает действительно бесперебойное питание компьютера, обладая свойствами on-line ИБП. Феррорезонансный трансформатор также обеспечивает эффективное подавление шумов и импульсов, что дает возможность не использовать других, специальных, схем для их подавления. Феррорезонансный трансформатор, используемый в ИБП, имеет независимые первичные и вторичные обмотки, т.е. обеспечивает полную гальваническую изоляцию нагрузки от электрической сети. Это свойство повышает надежность систем бесперебойного питания и позволяет использовать феррорезонансные ИБП для защиты компьютерных сетей, в том числе расположенных в разных зданиях. Трансформатор для феррорезонансного ИБП является и входным устройством: на входе Ferrups нет уязвимых полупроводниковых элементов. Поэтому при сильных колебаниях входного напряжения, в том числе значительных импульсных нагрузках, этот ИБП не выходит из строя.

Сущемствуют модификации Ferrups, предназначенные для подключению не к фазному, а к линейному напряжению (т.е. напряжению 380 В). Выходное напряжение этих ИБП равно 220 В. Подключение ИБП к двум линейным проводам имеет несколько преимуществ и приближает эти модификации феррорезонансных ИБП к ИБП с трехфазным входом. Среди преимуществ: отсутсвие перекоса фаз при подключении значительной однофазной нагрузки, более широкий диапазон условий эксплуатации ИБП за счет меньшего изменения линейного напряжения по сравнеию с фазным напряжением, отсутствие перегрузки нейтрали.

Режимы работы феррорезонансного ИБП

Феррорезонансный ИБП может работать в одном из трех режимов

Режим кондиционера питания

Простейший случай использования феррорезонансного ИБП – это перевод его в режим кондиционера электропитания. В этот режим работы ИБП переводится в это состояние принудительно, с помощью переключателя на панели управления. Как следует из названия режима, в это время ИБП выполняет функции кондиционера электрической сети: стабилизирует напряжение и фильтрует электрические шумы и импульсы. Инвертор ИБП заблокирован. Строго говоря, в этом режиме работы прибор не является источником бесперебойного питания, поскольку в случае исчезновения напряжения в электрической сети он не сможет поддержать работу своей нагрузки.

Работа от сети

В режиме работы от сети ИБП работает так же, как и в режиме кондиционера питания, стабилизируя и фильтруя сетевое напряжение. Выпрямитель ИБП автоматически подзаряжает батарею ИБП. Инвертор и батарея ИБП постоянно находятся наготове, и как только блок анализа сети обнаружит сбой сети, который не может быть устранен с помощью феррорезонансного трансформатора, немедленно включается инвертор и ИБП переходит на режим работы от батареи.

Работа от батареи

По команде блока анализа сети, при возникновении сбоя электропитания, включается инвертор ИБП. Включение производится так, чтобы напряжение инвертора было в фазе с напряжением электрической сети. Электрическая сеть после этого отключается от входа феррорезонансного трансформатора, но остается под контролем блока управления и анализа сети. В момент переключения на режим работы от батареи ИБП продолжает снабжать электроэнергией нагрузку, используя магнитную энергию, накопленную в обладающем большой индуктивностью феррорезонансном трансформаторе. В этот момент феррорезонансный трансформатор выполняет функцию "маховика", помогающего ИБП "проскочить" момент переключения, не прерывая питания нагрузки. На протяжении времени выхода инвертора на режим выходное напряжение успевает уменьшится на несколько процентов. На режиме работы от батареи ИБП, инвертор ИБП продолжает подавать напряжение к нагрузке, расходуя заряд батареи. После исчерпания заряда, когда напряжение на батарее становится менее минимально допустимого, ИБП выключает инвертор и нагрузка обесточивается.

Если напряжение в сети восстанавливается раньше исчерпания заряда батареи, ИБП начинает подготовку к переключению на режим работы от сети. В это время блок управления следит за изменением разности фаз между выходом инвертора и сетью. В момент, когда разность фаз оказывается равной нулю, феррорезонансный трансформатор подключается к электрической сети, а инвертор прекращает работу.

Блок управления

Ferrups управляется микропроцессором, который постоянно контролирует множество параметров. К любой модели Ferrups можно подключить панель управления с алфавитно-цифровым дисплеем. Модели, начиная с мощности 4.3 кВА, оснащены ею стандартно. В произвольный момент времени на панель управления можно вызвать любую из примерно 130 величин, хранящихся в основной памяти Ferrups. Некоторые из этих величин измеряются прибором: напряжение на входе и выходе ИБП, ток нагрузки, температура в трех местах ИБП (внутри корпуса, радиатор и трансформатор) и т.д. Другие величины рассчитываются на основании измеренных: время работы от батареи, коэффициент мощности, мощность нагрузки в ВА и ваттах. Третью группу величин составляют установленные на заводе пределы допустимого изменения основных параметров: предельные температуры, напряжения и токи, верний и нижний пределы частоты и т.д. В памяти ИБП хранятся также: тип и номер прибора, наработка инвертора, результаты последнего тестирования, аварийные сообщения, а также несколько параметров, которые служат для настройки ИБП. Некоторые из величин могут быть не только просмотрены, но и изменены.

Для защиты от произвольного изменения параметров неквалифицированным персоналом существует трехуровневая система паролей. Например пароль пользователя позволяет установить время и дату на часах микропроцессора, сервисный пароль позволяет настроить измеряемые величины и т.д. В случае выхода регистрируемых параметров за установленные пределы ИБП выдает аварийное сообщение. Оно

регистрируется в памяти и сопровождается звуковым сигналом. Для каждого из 19 видов аварийных сообщений имеется свой звуковой сигнал, представляющий собой периодически повторяющийся код азбуки Морзе. Аварийные сообщения выдаются например в случае разряда батареи (два уровня разряда) или ее перезаряда, а также (отдельный сигнал), когда до исчерпания заряда батареи остается мало времени, выхода напряжений, токов, температур за установленные предел. Контролируется также работоспособность нескольких ухлов ИБП: батареи, инвертора, оперативной памяти, датчиков температуры.

С помощью панели управления Ferrups может быть переключен в режим кондиционера питания или на работу от батареи. Одной из важных функций блока управления Ferrups является расчет напряжения, при котором производится переключение ИБП на режим работы от батареи. Необходимость таккого расчета связана с тем, что диапазон входных напряжений феррорезонансного трансформатора сильно зависит от нагрузки ИБП (см. рис. 16). При небольшой нагрузке феррорезонасный ИБП переключается на режим работы от батареи при напряжении 140-150 В. Если нагрузка ИБП близка к номинальной, переключение на работу от батареи происходит при заметно более высоком напряжении (170-180 В).

В целом микропроцессорный блок управления Ferrups является одним из наиболее совершенных устройств такого наазначения. Кроме уже отмеченных особенностей, он реализует импульсный алгоритм заряда батареи и считает ожидаемое время работы от батареи точнее других известных мне ИБП.

Порт для связи с компьютером

Феррорезонансный ИБП оснащен портом для связи с компьютером или другими устройствами. Этот порт предназначен для передачи и приема сигналов релейного типа и сигналов протокола RS232. Для коммуникаций с Ferrups может использоваться не только компьютер с математическим обеспечением CheckUPS, но и любой терминал (или компьютер в режиме эмуляции терминала). Это позволяет, даже не имея математического обеспечения или пульта управления, произвести настройку ИБП. Для общения с ИБП используется специальный (причем подробно документированный в описании) язык, состоящий из примерно 40 базовых команд (ключевых слов). Посылка команды источнику бесперебойного питания вызвает реакцию: вывод запрошенных данных на экран терминала, изменение данных в памяти ИБП или переключение режимов работы Ferrups. На экран терминала или компьютера может быть вызвана любая информация из памяти ИБП, в том числе аварийные сообщения, любой из параметров, список параметров. С помощью терминала можно переключить ИБП в другой режим работы, изменить время или дату, стереть записанные аварийные сообщения и т.д.

Иногда в компьютерной комнате может быть установлен общий рубильник, предназначенный для отключения (в том числе аварийного) всего оборудования одновременно. Понятно, что если часть оборудования питается через ИБП, то отключение рубильника не приведет к отключению оборудования. ИБП отреагируют на это, как на обчный сбой питания и продолжат поддерживать работу оборудования от батареи.

Порт Ferrups может использоваться для подачи источнику бесперебойного питания специального сигнала от дополнительных контактов рубильника. После получения этого сигнала и исчезновения напряжения, ИБП снимет напряжение с нагрузки. Включение рубильника вызовет подачу напряжения к оборудованию, защищаемому ИБП.

Характеристики феррорезонансного ИБП

Мощность

Серия ИБП Ferrups состоит из 19 моделей мощностью от 500 до 18 кВА.

КПД

Коэффициент полезного действия феррорезонансного ИБП изменяется от 85 до 92 процентов, в зависимости от мощности.

Гальваническая развязка

FerrUPS не только имеет полную гальваническую развязку между входом и выходом, но и имеет уникально малую проходную емкость не более 2 пф и согласно национальным стандартам США может рассматриваться, как полностью изолированный источник электропитания.

Время работы от батареи

Феррорезонансный ИБП в стандартной (минимальной) комплектации имеет время работы от батареи при полной нагрузке около 6-12 минут. Время работы от батареи может наращиваться практически неограниченно за счет установки более емких батарей в тот же корпус или применения отдельного корпуса для батареи. В отличие от большинства других ИБП, при увеличении емкости батареи Ferrups можно заменить и зарядное устройство. Это позволяет иметь небольшое время заряда батареи даже для батарей большой емкости.

Входное напряжение

Как уже говорилось, феррорезонансный ИБП не чувствителен к перегрузкам на выходе. Даже при коротком замыкании на выходе он не выходит из строя (причем даже без предохранителей или электронной защиты). Однако, как и любой однофазный ИБП, Ferrups может быть выведен из строя при значительном повышении напряжения на его входе (например при аварийном повышении напряжения в случае обрыва нейтрали). Большая часть моделей Ferrups (предназначенных для нашей электрической сети) имеет номинальное входное напряжение 220 В. К ним-то (как и ко всем другим однофазным ИБП, и относится предыдущий параграф). Но модели, начиная с мощности 4.3 кВА, могут быть оснащены специальным автотрансформатором, меняющим номинальное входное напряжение ИБП на 380 В. Это значит, что ИБП с автотрансформатором может быть подключен не к фазному напряжению (220 В), а к линейному напряжению (380 В). Линейное напряжение в трехфазной электрической сети гораздо менее, чем фазное, подвержено любым изменениям, даже в случае серьезных аварий. Возможность значительного (более, чем на 25%) возрастания линейного напряжения практически отсутствует. Поэтому феррорезонансный ИБП с входом на 380 В получает очень высокую устойчивость к изменениям входного напряжения: т.е. эту модель ИБП почти невозможно сжечь не только при коротком замыкании на выходе, но и при любых изменениях напряжения на входе.

Более того, эта разновидность Ferrups получает некоторые свойства трехфазных ИБП. При подключении этого ИБП к линейному напряжению, не задействуется нейтральный провод. Это разгружает нейтраль, уменьшает гармонические искажения напряжения.

Защита от импульсов

FerrUPS испытывается на соответствие категории В соответствующего стандарта ANSI/IEEE (импульс 6000 В, 3000 А). Коэффициент уменьшения амплитуды импульса равен 1:2000. Ослабление импульсов основано на свойствах феррорезонансного трансформатора, который в отличие от варисторных фильтров импульсов не изнашивается.

Защита от шумов

Ferrups не имеет специального фильтра шумов. Для фильтрации шумов используется феррорезонансный трансформатор. Ослабление шумов общего вида достигает 120 дБ, шумов нормального вида – до 60 дБ.

Форма осциллограммы напряжения

Полный коэффициент гармонических искажений выходного напряжения феррорезонансного ИБП не превышает 5% для линейной нагрузки. Искажения формы входного напряжения оказывают слабое влияние на форму выходного напряжения: оно остается синусоидальным.

Пик-фактор (коэффициент амплитуды) нагрузки

Феррорезонансный ИБП (опять-таки в силу свойств своего трансформатора) имеет особенности при работе с импульсными блоками питания компьютеров и другими нелинейными нагрузками. При питании от Ferrups блоки питания компьютеров работают с уменьшенным коэффициентом амплитуды тока потребления (т.е. амплитудное значение тока потребления уменьшается, а ширина импульсов увеличивается). Таким образом ток потребления компьютера приближается к синусоидальному. Коэффициент амплитуды тока потребления самого феррорезонансного ИБП практически не зависит от характера нагрузки, поэтому искажения, вносимые компьютерами в электрическую сеть уменьшаются.

Преимущества феррорезонансного ИБП

К положительным свойствам феррорезонансного ИБП следует отнести следующие.

- Гальваническая развязка.
- Очень хорошая защита от шумов и наносекундных импульсов.
- Защита от искажений формы кривой напряжения и микросекундных импульсов.
- Плавная стабилизация напряжения.
- Интеллектуальный интерфейс и возможность настройки параметров.
- Высокая надежность. Есть веские основания считать Ferrups наиболее надежным и наиболее пригодным к работе в очень жестких условиях ИБП.
- Наличие возможности подключения к линейному напряжению трехфазной электрической сети.

Недостатки феррорезонансного ИБП

Немногочисленные недостатки Ferrups так же, как и его преимущества связаны с наличием в его схеме феррорезонансного трансформатора.

Чувствительность к частоте. Выходное напряжение Ferrups из-за резонансных свойств трансформатора зависит от частоты: изменение частоты на 1% приводит к изменению напряжения примерно на 1-1.5%.

Ограничение выходного тока феррорезонансного трансформатора может быть и недостатком и преимуществом, в зависимости от обстоятельств. Выходной ток

трансформатора не может превышать номинальный более, чем на 50%. Поэтому от выдерживает короткое замыкание на выходе. Если для запуска какого-либо устройства кратковременно требуется больший ток (стартовый ток), то возможны два варианта: либо запуск устройства будет растянут по времени (мягкий запуск), что часто очень хорошо, либо устройство не запустится, не получив от ИБП нужного стартового тока (например электродвигатель). При проектировании системы бесперебойного питания на базе Ferrups нужно обязательно проанализировать стартовые токи всех нагрузок и последовательность их включения, чтобы запуск одного из мощных устройств не привел к резкому снижению напряжения на других устройствах. Обычно для таких систем рекомендуется защищать каждое устройство (или группу устройств) своим автоматом с механизмом мгновенного действия.

Глава 6. ИБП с двойным преобразованием энергии (Double Conversion UPS)

На рисунке 17 представлена блок-схема ИБП с двойным преобразованием энергии.

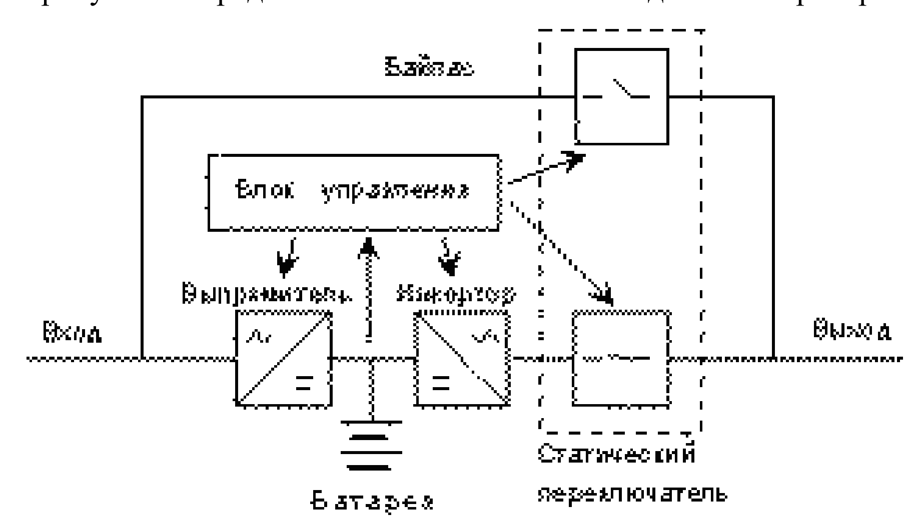


Рис. 17. ИБП с двойным преобразованием энергии

На входе ИБП с двойным преобразованием энергии находится выпрямитель. В отличие от выпрямителей рассмотренных нами ранее типов ИБП – это мощное устройство. Ведь выпрямитель должен не только подзаряжать батарею ИБП, но, прежде всего, снабжать инвертор ИБП постоянным напряжением. Инвертор преобразует весь поток мощности из напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока. Байпас – это специальная линия, которая позволяет в случае необходимости питать нагрузку напрямую от электрической сети. Для переключения на работу через байпас служит статический (т.е. не имеющий движущихся элементов) переключатель. Поэтому этот байпас часто называют статическим байпасом.

ИБП с двойным преобразованием энергии может работать в трех режимах

Работа от сети

Если в сети есть "нормальное" напряжение, то вся мощность, потребляемая нагрузкой, проходит через выпрямитель ИБП. Выпрямитель преобразует напряжение электрической сети в стабилизированное напряжение постоянного тока. Оно используется для заряда батареи и для питания инвертора. Инвертор преобразует напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока, которым и питается нагрузка.

Работа от батареи

Выпрямитель ИБП с двойным преобразованием выдает стабилизированное напряжение постоянного тока. Т.е. независимо от величины напряжения переменного тока на входе выпрямителя напряжение постоянного тока на его выходе сохраняется постоянным. Естественно, напряжение остается стабильным только если входное напряжение не выходит из некоторого диапазона допустимых напряжений. Этот диапазон называется диапазоном входных напряжений ИБП. Диапазон входных напряжений ИБП с двойным преобразованием не остается постоянным. Его величина (или вернее его нижняя граница) зависит не только от конкретной модели ИБП, но и его нагрузки. Если напряжение сети становится меньше нижней границы диапазона входных напряжений (т.е. выпрямитель уже не может стабилизировать напряжение), напряжение постоянного тока на выходе выпрямителя уменьшается и становится ниже напряжения заряженной батареи ИБП.

Никакого переключения не происходит. Просто инвертор начинает частично питаться от батареи, а батарея начинает разряжаться. При дальнейшем уменьшении напряжения или если напряжение пропадает совсем, инвертор начинает полностью питаться от батареи. Говорят, что ИБП перешел на режим работы от батареи. Работа ИБП от батареи продолжается некоторое время, определяемое зарядом батареи и нагрузкой. После того, как батарея разрядится до напряжения примерно 1.7 В на элемент, инвертор ИБП будет отключен автоматикой, защищающей батарею от необратимого переразряда. Если напряжение на входе ИБП снова поднимется до нормального, выпрямитель опять начнет заряжать батарею и питать инвертор.

Режим работы через статический байпас

Основные элементы ИБП с двойным преобразованием при работе от сети постоянно находятся под нагрузкой. Если бы ИБП с двойным преобразованием был построен по схеме, придуманной нами во второй главе, то он имел бы низкую надежность. Ведь при выходе из строя инвертора, подача напряжения к нагрузке прервалась бы и ИБП не только не выполнил бы своего предназначения, но даже сам из-за своей поломки мог бы стать причиной потери данных в подключенных к нему компьютерах или отключения каких-либо подключенных к нему важных устровйств. Для того, чтобы этого не происходило, в ИБП введена еще одна линия электроснабжения нагрузки – статический байпас. При выходе из строя инвертора или его перегрузке, срабатывает переключатель (размыкается линия "инвертор-нагрузка" и замыкается линия "байпас-нагрузка") и нагрузка продолжает питаться от сети. К сожалению не все ИБП с переключением имеют статический байпас. На мой взгляд такие ИБП вообще не следует использовать, поскольку они не надежны.

Рассмотрим теперь работу отдельных элементов ИБП

Выпрямитель

Выпрямитель ИБП с двойным преобразованием должен иметь мощность, достаточную для двух его основных функций. Его максимальный выходной ток должен быть не меньше суммы максимального входного тока инвертора и максимального зарядного тока батареи.

Для правильного заряда батареи выпрямитель должен очень точно (с точностью не хуже 1%) поддерживать напряжение плавающего заряда на батарее. Иногда в ИБП с двойным преобразованием энергии применяют регулируемые тиристорные выпрямители.

В некоторых случаях в ИБП устанволены пассивные (диодные) выпрямители, а для точного регулирования напряжения на аккумуляторной батарее используется преобразователь напряжения постоянного тока. Иногда ИБП, построенные по такой схеме их производители называют ИБП с тройным преобразованием.

В некоторых случаях в ИБП установлены пассивные (диодные) выпрямители, а для точного регулирования напряжения на аккумуляторной батарее используется преобразователь напряжения постоянного тока. Иногда ИБП, построенные по такой схеме их производители называют ИБП с тройным преобразованием.

Инвертор, синхронизация с сетью и переключение на статический байпас

Инвертор ИБП с двойным преобразованием энергии имеет возможность изменения выходной частоты инвертора для синхронизации выходного напряжения инвертора с сетью. Эта функция используется в ИБП с двойным преобразованием постоянно и просто необходима для переключения ИБП на статический байпас. Рассмотрим это переключение несколько подробнее.

Для того, чтобы ИБП с двойным преобразованием имел непрерывное выходное напряжение без скачков и разрывов на всех режимах работы, нужно обеспечить гладкое переключение на статический байпас при выходе из строя инвертора или его перегрузке.

Для этого необходимо, чтобы фаза и частота сетевого напряжения (т.е. напряжения в цепи байпаса) в момент переключения были такими же, как фаза и частота выходного напряжения инвертора. Но мы не можем управлять фазой и частотой сети, следовательно мы должны добиться желаемой цели за счет настройки инвертора. Мы не можем, как в ИБП, взаимодействующим с сетью, подстроить фазу и частоту инвертора перед самым переключением. Ведь мы, к сожалению, не знаем, в какой момент инвертор выйдет из строя или испытает перегрузку. Поэтому инвертор ИБП с двойным преобразованием должен всегда быть синхронизован с сетью. Точнее говоря, должна быть достигнута синхронизации инвертора с линией статического байпаса, которая в общем случае может быть подключена к другой линии электроснабжения, чем вход выпрямителя ИБП.

Посмотрим теперь, что произойдет с ИБП с двойным преобразованием энергии, если частота сети вдруг начнет отличаться от стандартной (50 Гц). ИБП с двойным преобразованием имеет некоторые пределы допустимых изменений частоты сети (эта характеристика указана в паспорте или описании). Скажем минимальная допустимая частота равна 49 Гц, а максимальная допустимая частота – 51 Гц (т.е. пределы допустимых изменений частоты равны ± 2%) . Если частота в линии байпаса находится в пределах допустимого, то частота инвертора аккуратно следует за ней. Частота и фаза инвертора равны частоте и фазе в линии байпаса. Следовательно ИБП в любой момент (при выходе из строя инвертора или его перегрузке) может переключиться на статический байпас, не испытывая импульсных нагрузок. Если же частота в линии байпаса станет равной 48 Гц, то частота инвертора не может следовать за ней, чтобы не питать нагрузку напряжением с частотой, сильно отличающейся от номинальной. Как мы уже знаем, ИБП, взаимодействующие с сетью, в этом случае переходят на режим работы от батареи, а после исчерпания заряда батареи отключаются. ИБП с двойным преобразованием энергии отрабатывают эту ситуацию гораздо лучше. Блок управления просто разрешает инвертору ИБП прекратить синхронизацию с линией байпаса и перейти на режим независимой работы. Частота инвертора становится равной ровно 50 Гц и остается такой до тех пор, пока частота линии байпаса не вернется в пределы допустимого. Во время независимой работы инвертора, переключение ИБП на статический байпас блокируется, поскольку при таком переключении возможны сильные фазовые и амплитудные искажения, которые могут нанести ущерб чувствительной нагрузке. Более того, переключение в отсутствие синхронизации опасно для самого ИБП.

Некоторые ИБП имеют возможность настройки пределов допустимых изменений частоты. Например они могут быть настроены на допустимые колебания частоты 0.5, 1 или 2 Герца в каждую сторону. Казалось бы, чем уже диапазон допустимых колебаний частоты, тем лучше для чувствительной нагрузки. На самом деле улучшение качества стабилизации частоты происходит за счет общей надежности системы. Ведь если диапазон допустимых изменений частоты установлен меньше реального диапазона изменения частоты сети в месте установки ИБП, то ИБП большую часть времени работает

без синхронизации инвертора с линией байпаса. Это снижает общую надежность системы, защищаемой с помощью ИБП, поскольку во время независимой работы инвертора невозможно переключение на статический байпас.

В случае если ИБП имеет возможность настройки диапазона допустимых изменений частоты, пользователь имеет возможность выбирать выгодный для себя компромисс. Он может установить очень узкий диапазон частот для чувствительной нагрузки, сознательно пойдя на некоторое снижение надежности системы, или расширить этот диапазон для получения максимальной надежности, если нагрузка не слишком чувствительна к изменениям частоты. Как мы выяснили, основное назначение статического байпаса – это увеличение надежности ИБП и компьютерной системы в целом за счет организации резервного источника электроснабжения, который вступает в действие при выходе из строя инвертора. В рассмотренном простейшем случае таким источником является та же электрическая сеть, которая питает выпрямитель ИБП. (Заметим в скобках, что это не единственный возможный источник).

Выход из строя какой-либо из систем ИБП вещь, в общем-то, довольно маловероятная. Хорошие ИБП с двойным преобразованием имеют среднее время наработки на отказ до 10 лет. Но статический байпас имеет еще одну функцию, которая используется буквально при каждом включении сильно нагруженного ИБП. Инвертор естественно имеет ограничение по допустимой нагрузке. При постоянной нагрузке этой границей является номинальная мощность ИБП. Кратковременно инвертор способен выдерживать большие токи. Обычно допускается перегрузка около 50-150% на несколько миллисекунд и около 10-50% на несколько секунд или десятков секунд. Практически любому потребителю электроэнергии известно такое явление, как стартовый ток. Под этим понимается ток, возникающий при включении потребителя электроэнергии в отличие от тока на установившемся режиме работы. Для компьютеров и других часто питаемых от ИБП устройств характерен довольно большой стартовый ток. При каждом включении компьютер потребляет в несколько раз больший ток, чем после запуска (как мы увидим далее, стартовый ток легко может превысить номинальный ток в 10 раз).

Таким образом при запуске потребителей, мощность которых составляет хотя бы 10% номинальной мощности ИБП, возможна перегрузка инвертора. Если перегрузка возникла, ИБП для предохранения своего инвертора от перегрузки переключается на работу через байпас. Через несколько секунд ИБП снова переключается на работу от инвертора. Этот режим работы предохраняет инвертор от выхода из строя и увеличивает общую надежность компьютерной системы, защищенной с помощью ИБП с двойным преобразованием энергии.

Другие элементы ИБП с двойным преобразованием

Сравним еще раз схемы ИБП с двойным преобразованием и взаимодействующего с сетью. У ИБП с двойным преобразованием отсуствуют (хотя и не у всех моделей) некоторые элементы: фильтры шумов и импульсов. В ИБП этого типа импульсы и шумы фильтруются в результате выпрямления напряжения переменного тока: на выходе выпрямителя имеются схемы подавления пульсаций напряжения, выполняющие роль фильтров. В процессе второго преобразования энергии шумы и импульсы еще раз уменьшаются и нагрузка питается чистым синусоидальным напряжением. Поэтому отсутствие в схеме фильтров можно считать своего рода фокусом: внутри ИБП есть элементы, выполняющие эти функции, но называющиеся по другому. Кроме того, в некоторых ИБП с двойным преобразованием энергии установлены варисторные шунты.

Блок управления ИБП с двойным преобразованием энергии не анализирует состояния электрической сети (вы видите, что на блок-схеме нет соответствующей стрелки). В этом нет необходимости, ведь нам не нужно управлять переключением (или, вернее, переходом) ИБП с двойным преобразованием на работу от батареи – этот переход производится или, вернее, происходит, без участия управляющей электроники.

Нет необходимости и производить анализ формы напряжения переменного тока на входе ИБП: выпрямитель ИБП с двойным преобразованием энергии может питаться напряжением переменного тока практически любой формы – все равно на выходе выпрямителя будет стабилизированное напряжение постоянного тока, а на выходе инвертора – чистая синусоида.

Задача блока управления – регулировать напряжение на выходе выпрямителя, напряжение на выходе инвертора (как и у других, рассмотренных ранее ИБП) и не пропустить момент, когда понадобится произвести переключение на работу через статический байпас.

Батарея

Батарея ИБП с двойным преобразованием не имеет никаких отличий от батарей ИБП других типов. Все силовые элементы ИБП с двойным преобразованием энергии работают под нагрузкой все время, пока ИБП включен (в отличие, например, от инвертора и выпрямителя ИБП с переключением, которые простаивают, пока ИБП работает от сети). Поэтому все полупроводники и другие силовые элементы ИБП с двойным преобразованием рассчитаны на длительную работу по полной нагрузкой. Это позволяет, не внося значительных изменений в ИБП, подключать к нему дополнительные аккумуляторы для увеличения длительности работы от батареи. Большинство ИБП с двойным преобразованием имеют такую возможность.

Характеристики ИБП с двойным преобразованием энергии

Мощность

ИБП с двойным преобразованием имеют наиболее широкий диапазон мощностей по сравнению с другими ИБП. Минимальная мощность – 500-700 ВА для разных серий небольших ИБП. Схема ИБП с двойным преобразованием позволяет создавать устройства очень большой мощности. Обычно максимальная мощность единичного ИБП ограничивается величиной около 300-500 кВА. Но возможно наращивание мощности ИБП за счет параллельной работы нескольких модулей на одну нагрузку. Начиная с мощности около 10 кВА ИБП обычно предназначены для работы с трехфазным входным напряжением. Потому все, что связано с ИБП средней и большой мощности, рассматривается в главе "Трехфазные ИБП".

Коэффициент полезного действия

ИБП с двойным преобразованием энергии имеют не слишком высокий КПД, по сравнению с ИБП других типов. Тем не менее, их КПД довольно велик. Он составляет примерно 90% при полной или близкой к полной мощности. При уменьшении мощности КПД уменьшается. На примерно 50% мощности КПД может составлять около 70%. Исходя из КПД, можно оценить максимальное тепловыделение ИБП. Оно примерно равно 10% от номинальной мощности ИБП. Тепловыделение ИБП должно учитываться при расчете теплового режима помещения, где установлены ИБП. Подробнее это рассмотрено в главе "Трехфазные ИБП", поскольку тепловой режим критичен именно для больших ИБП.

Приведенная выше величина КПД не учитывает использования части входной мощности для заряда батареи. Потому для того, чтобы даже примерно определить максимальный входной ток ИБП, величины КПД не достаточно. Нужно смотреть более подробные технические характеристики ИБП, а для точного расчета максимального входного тока, нужно рассчитывать эту величину, исходя их емкости батареи, установленной в ИБП.

Время работы от батареи

ИБП небольшой мощности (до 1 кВА) имеют время работы от батареи при полной нагрузке примерно 5-15 минут. Но почти для всех ИБП большей мощности фирма

производитель обычно предусматривает возможность наращивания емкости батареи по сравнению со стандартной.

ИБП средней и большой мощности (более 10-30 кВА) часто не имеют "стандартной" батареи. Батарея для них подбирается, исходя из требований заказчика. Наиболее распространенными вариантами являются батареи на 3-5 минут автономной работы – для сопряжения ИБП с дизельным генератором и батарея на 10-30 минут – для автономной работы ИБП.

Преимущества ИБП с двойным преобразованием

К положительным свойствам ИБП с двойным преобразованием следует отнести следующие.

- Хорошая защита от шумов и наносекундных импульсов.
- Очень хорошая защита от искажений формы кривой напряжения и микросекундных импульсов.
- Возможность работы в сетях с нестабильной частотой.
- Самая лучшая плавная стабилизация напряжения с высокой точностью.
- Возможность наращивания батареи практически для всех моделей ИБП.

Недостатки ИБП с двойным преобразованием

Как и для других ИБП, недостатки ИБП с двойным преобразованием вытекают из особенностей силовой схемы ИБП (и, к сожалению, вряд ли могут быть отделены от преимуществ). Более высокая цена, по сравнению с другими типами ИБП (кроме феррорезонансного). Повышенное тепловыделение, по сравнению с другими типами ИБП (кроме феррорезонансного)...

Глава 7. Трехфазные ИБП

Промышленная трехфазная сеть используется для питания трехфазного оборудования (станков, электродвигателей, больших компьютеров и т.д.), рассчитанного на напряжение 3х380 В и однофазных потребителей энергии, работающих при напряжении 220 В.

Если пользователь захочет использовать централизованную систему бесперебойного питания мощностью 10-20 кВА или более и включит в сеть однофазный ИБП такой мощности, то может возникнуть неравномерное распределение нагрузки по фазам трехфазной электрической сети. Если одна из фаз сети нагружена на 100% мощности, а две другие не нагружены совсем, то напряжения в трехфазной электрической сети будут искажены. В сильно нагруженной фазе напряжение будет меньше номинального, а в ненагруженных фазах напряжения будут выше номинального. Электрики называют эту ситуацию "перекос фаз". Перекос фаз имеет некоторые сопутствующие неприятности. Если к сильно нагруженной фазе (скажем фазе А) подключены нелинейные нагрузки, вроде компьютеров, то в этой фазе возникают гармонические искажения напряжения. Поскольку остальные фазы трехфазной сети нагружены слабо, то ток нагрузки фазы А замыкается по нейтральному проводу. В нем тоже возникают гармонические искажения напряжения, которые влияют на работу оборудования, погдключенного к недогруженным фазам.

Для того, чтобы избежать этого, ИБП большой мощности (начиная примерно с 10 кВА) как правило предназначены для подключения к трехфазной электрической сети. Диапазон мощностей 8-25 кВА – переходный. Для такой мощности делают чисто однофазные ИБП, чисто трехфазные ИБП и ИБП с трехфазным входом и однофазным выходом. Все ИБП, начиная примерно с 30 кВА имеют трехфазный вход и трехфазный выход. Трехфазные ИБП имеют и другое преимущество перед однофазными ИБП. Они эффективно разгружают нейтральный провод от гармоник тока и способствуют более

безопасной и надежной работе больших компьютерных систем. Эти вопросы рассмотрены в разделе "Особенности трехфазных источников бесперебойного питания" главы 8. Трехфазные ИБП строятся обычно по схеме с двойным преобразованием энергии. Поэтому в этой главе мы будем рассматривать только эту схему, несмотря на то, что имеются трехфазные ИБП, построенные по схеме, похожей на ИБП, взаимодействующий с сетью.

Схема трехфазного ИБП с двойным преобразованием энергии приведена на рисунке 18.

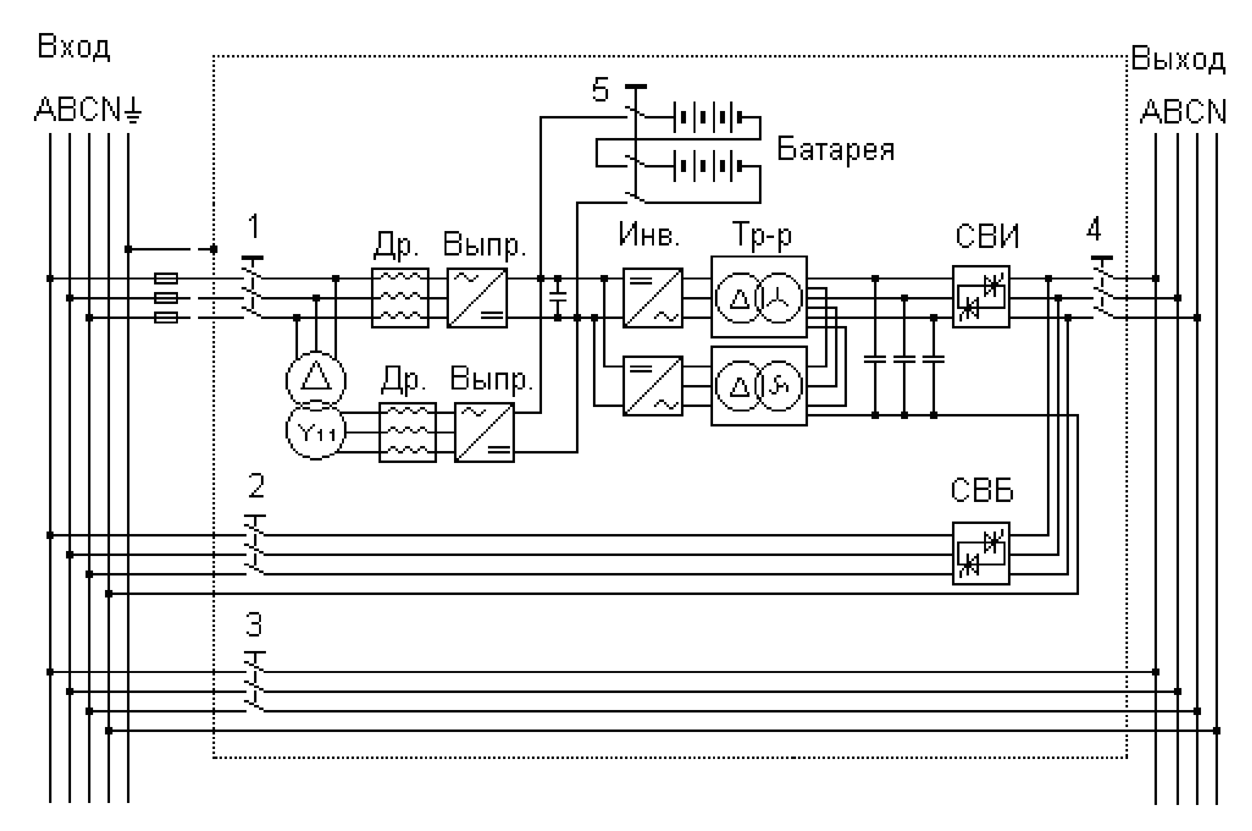


Рис.18. Трехфазный ИБП с двойным преобразованием энергии

Как видно, этот ИБП не имеет почти никаких отличий на уровне блок-схемы, за исключением наличия трех фаз. Для того, чтобы увидеть отличия от однофазного ИБП с двойным преобразованием, нам придется (почти впервые в этой книге) несколько подробнее рассмотреть элементы ИБП. Мы будем проводить это рассмотрение, ориентируясь на традиционную технологию. В некоторых случаях будут отмечаться схемные особенности, позволяющие улучшить характеристики.

Выпрямитель

Слева на рис 18. – входная электрическая сеть. Она включает пять проводов: три фазных , нейтраль и землю. Между сетью и ИБП – предохранители (плавкие или автоматические). Они позволяют защитить сеть от аварии ИБП. Выпрямитель в этой схеме – регулируемый тиристорный. Управляющая им схема изменяет время (долю периода синусоиды), в течение которого тиристоры открыты, т.е. выпрямляют сетевое напряжение. Чем большая мощность нужна для работы ИБП, тем дольше открыты тиристоры. Если батарея ИБП заряжена, на выходе выпрямителя поддерживается стабилизированное напряжение постоянного тока, независимо от нвеличины напряжения в сети и мощности нагрузки. Если батарея требует зарядки, то выпрямитель регулирует напряжение так, чтобы в батарею тек ток заданной величины.

Такой выпрямитель называется шести-импульсным, потому, что за полный цикл трехфазной электрической сети он выпрямляет 6 полупериодов сингусоиды (по два в каждой из фаз). Поэтому в цепи постоянного тока возникает 6 импульсов тока (и напряжения) за каждый цикл трехфазной сети. Кроме того, во входной электрической сети также возникают 6 импульсов тока, которые могут вызвать гармонические искажения сетевого напряжения. Конденсатор в цепи постоянного тока служит для уменьшения пульсаций напряжения на аккумуляторах. Это нужно для полной зарядки батареи без протекания через аккумуляторы вредных импульсных токов. Иногда к конденсатору добавляется еще и дроссель, образующий совместно с конденсатором L-C фильтр.

Коммутационный дроссель ДР уменьшает импульсные токи, возникающие при открытии тиристоров и служит для уменьшения искажений, вносимых выпрямителем в электрическую сеть. Для еще большего снижения искажений, вносимых в сеть, особенно для ИБП большой мощности (более 80-150 кВА) часто применяют 12-импульсные выпрямители. Т.е. за каждый цикл трехфазной сети на входе и выходе выпрямителя возникают 12 импульсов тока. За счет удвоения числа импульсов тока, удается примерно вдвое уменьшить их амплитуду. Это полезно и для аккумуляторов и для электрической сети.

Двенадцати-импульсный выпрямитель фактически состоит из двух 6-импульсных выпрямителей. На вход второго выпрямителя (он изображен ниже на рис. 18) подается трехфазное напряжение, прошедшее через трансформатор, сдвигающий фазу на 30 градусов.

В настоящее время применяются также и другие схемы выпрямителей трехфазных ИБП. Например схема с пассивным (диодным) выпрямителем и преобразователем напряжения постоянного тока, применение которого позволяет приблизить потребляемый ток к синусоидальному.

Наиболее современным считается транзисторный выпрямитель, регулируемый высокочастотной схемой широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Применение такого выпрямителя позволяет сделать ток потребления ИБП синусоидальным и совершенно отказаться от 12-импульсных выпрямителей с трансформатором.

Батарея

Для формирования батареи трехфазных ИБП (как и в однофазных ИБП) применяются герметичные свинцовые аккумуляторы. Обычно это самые распространенные модели аккумуляторов с расчетным сроком службы 5 лет. Иногда используются и более дорогие аккумуляторы с большими сроками службы. В некоторых трехфазных ИБП пользователю предлагается фиксированный набор батарей или батарейных шкафов, рассчитанных на различное время работы на автономном режиме. Покупая ИБП других фирм, пользователь может более или менее свободно выбирать батарею своего ИБП (включая ее емкость, тип и количество элементов). В некоторых случаях батарея устанавливается в корпус ИБП, но в большинстве случаев, особенно при большой мощности ИБП, она устанавливается в отдельном корпусе, а иногда и в отдельном помещении.

Инвертор

Как и в ИБП малой мощности, в трехфазных ИБП применяются транзисторные инверторы, управляемые схемой широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Некоторые ИБП с трехфазным выходом имеют два инвертора. Их выходы подключены к трансформаторам, сдвигающим фазу выходных напряжений. Даже в случае применения относительно низкочастоной ШИМ, такая схема совместно с применением фильтра переменного тока, построенного на трансформаторе и конденсаторах, позволяет обеспечить очень малый коэффициент гармонических искажений на выходе ИБП (до 3% на линейной нагрузке). Применение двух инверторов увеличивает надежность ИБП,

поскольку даже при выходе из строя силовых транзисторов одного из инверторов, другой инвертор обеспечит работу нагрузки, пусть даже при большем коэффициенте гармонических искажений.

В последнее время, по мере развития технологии силовых полупроводников, начали применяться более высокочастотные транзисторы. Частота ШИМ может составлять 4 и более кГц. Это позволяет уменьшить гармонические искажения выходного напряжения и отказаться от применения второго инвертора. В хороших ИБП существуют несколько уровней защиты инвертора от перегрузки. При небольших перегрузках инвертор может уменьшать выходное напряжение (пытаясь снизить ток, проходящий через силовые полупроводники). Если перегрузка очень велика (например нагрузка составляет более 125% номинальной), ИБП начинает отсчет времени работы в условиях перегрузки и через некоторое время (зависящее от степени перегрузки – от долей секунды до минут) переключается на работу через статический байпас. В случае большой перегрузки или короткого замыкания, переключение на статический байпас происходит сразу.

Некоторые современные высококлассные ИБП (с высокочакстотной ШИМ) имеют две цепи регулирования выходного напряжения. Первая из них осуществляет регулирование среднеквадратичного (действующего) значения напряжения, независимо для каждой из фаз. Вторая цепь измеряет мгновенные значения выходного напряжения и сравнивает их с хранящейся в памяти блока управления ИБП идеальной синусоидой. Если мгновенное значение напряжения отклонилось от соотвествующего "идеального" значения, то вырабатывается корректирующий импульс и форма синусоиды выходного напряжения исправляется. Наличие второй цепи обратной связи позволяет обеспечить малые искажения формы выходного напряжения даже при нелинейных нагрузках.

Статический байпас

Блок статического байпаса состоит из двух трехфазных (при трехфазном выходе) тиристорных переключателей: статического выключателя инвертора (на схеме – СВИ) и статического выключателя байпаса (СВБ). При нормальной работе ИБП (от сети или от батареи) статический выключатель инвертора замкнут, а статический выключатель байпаса разомкнут. Во время значительных перегрузок или выхода из строя инвертора замкнут статический переключатель байпаса, переключатель инвертора разомкнут. В момент переключения оба статических переключателя на очень короткое время замкнуты. Это позволяет обеспечить безразрывное питание нагрузки.

Каждая модель ИБП имеет свою логику управления и, соответственно, свой набор условий срабатывания статических переключателей. При покупке ИБП бывает полезно узнать эту логику и понять, насколько она соответствует вашей технологии работы. В частности хорошие ИБП сконструированы так, чтобы даже если байпас недоступен (т.е. отсутствует синхронизация инвертора и байпаса – см. главу 6) в любом случае постараться обеспечить электроснабжение нагрузки, пусть даже за счет уменьшения напряжения на выходе инвертора.

Статический байпас ИБП с трехфазным входом и однофазным выходом имеет особенность. Нагрузка, распределенная на входе ИБП по трем фазным проводам, на выходе имеет только два провода: один фазный и нейтральный. Статический байпас тоже конечно однофазный, и синхронизация напряжения инвертора производится относительно одной из фаз трехфазной сети (любой, по выбору пользователя). Вся цепь, подводящая напряжение к входу статического байпаса должна выдерживать втрое больший ток, чем входной кабель выпрямителя ИБП. В ряде случаев это может вызвать трудности с проводкой.

Сервисный байпас

Трехфазные ИБП имеют большую мощность и обычно устанавливаются в местах действительно критичных к электропитанию. Поэтому в случае выхода из строя какого-либо элемента ИБП или необходимости проведения регламентных работ (например замены батареи), в большинстве случае нельзя просто выключить ИБП или поставить на его место другой. Нужно в любой ситуации обеспечить электропитание нагрузки. Для этих ситуаций у всех трехфазных ИБП имеется сервисный байпас. Он представляет собой ручной переключатель (иногда как-то заблокированный, чтобы его нельзя было включить по ошибке), позволяющий переключить нагрузку на питание непосредственно от сети. У большинства ИБП для переключения на сервисный байпас существует специальная процедура (определенная последовательность действий), которая позволяет обеспечит непрерывность питания при переключениях.

Режимы работы трехфазного ИБП с двойным преобразованием

Трехфазный ИБП может работать на четырех режимах работы.

- При нормальной работе нагрузка питается по цепи выпрямитель-инвертор стабилизированным напряжением, отфильтрованным от импульсов и шумов за счет двойного преобразования энергии.
- Работа от батареи. На это режим ИБП переходит в случае, если напряжение на выходе ИБП становится таким маленьким, что выпрямитель оказывается не в состоянии питать инвертор требуемым током, или выпрямитель не может питать инвертор по другой причине, например из-за поломки. Продолжительность работы ИБП от батареи зависит от емкости и заряда батареи, а также от нагрузки ИБП.
- Когда какой-нибудь инвертор выходит из строя или испытывает перегрузку, ИБП безразрывно переходит на режим работы через статический байпас. Нагрузка питается просто от сети через вход статического байпаса, который может совпадать или не совпадать со входом выпрямителя ИБП.
- Если требуется обслуживание ИБП, например для замены батареи, то ИБП переключают на сервисный байпас. Нагрузка питается от сети, а все цепи ИБП, кроме входного выключателя сервисного байпаса и выходных выключателей отделены от сети и от нагрузки. Режим работы на сервисном байпасе не является обязательным для небольших однофазных ИБП с двойным преобразованием. Трехфазный ИБП без сервисного байпаса немыслим.

Надежность

Трехфазные ИБП обычно предназначаются для непрерывной круглосуточной работы. Работа нагрузки должна обеспечиваться практически при любых сбоях питания. Поэтому к надежности трехфазных ИБП предъявляются очень высокие требования. Вот некоторые приемы, с помощью которых производители трехфазных ИБП могут увеличивать надежность своей продукции. Применение разделительных трансформаторов на входе и/или выходе ИБП увеличивает устойчивость ИБП к скачкам напряжения и нагрузки. Входной дроссель не только обеспечивает "мягкий запуск", но и защищает ИБП (и, в конечном счете, нагрузку) от очень быстрых изменений (скачков) напряжения.

Обычно фирма выпускает целый ряд ИБП разной мощности. В двух или трех "соседних по мощности" ИБП этого ряда часто используются одни и те же полупроводники. Если это так, то менее мощный из этих двух или трех ИБП имеет запас по предельному току, и поэтому несколько более надежен. Некоторые трехфазные ИБП имеют повышенную надежность за счет резервирования каких-либо своих цепей. Так,

например, могут резервироваться: схема управления (микропроцессор + платы "жесткой логики"), цепи управления силовыми полупроводниками и сами силовые полупроводники. Батарея, как часть ИБП тоже вносит свой вклад в надежность прибора. Если у ИБП имеется возможность гибкого выбора батареи, то можно выбрать более надежный вариант (батарея более известного производителя, с меньшим числом соединений).

Преобразователи частоты

Частота напряжения переменного тока в электрических сетях разных стран не обязательно одинакова. В большинстве стран (в том числе и в России) распространена частота 50 Гц. В некоторых странах (например в США) частота переменного напряжения равна 60 Гц. Если вы купили оборудование, рассчитанное на работу в американской электрической сети (110 В, 60 Гц), то вы должны каким-то образом приспособить к нему нашу электрическую сеть. Преобразование напряжения не является проблемой, для этого есть трансформаторы. Если оборудование оснащено импульсным блоком питания, то оно не чувствительно к частоте и его можно использовать в сети с частотой 50 Гц. Если же в состав оборудования входят синхронные электродвигатели или иное чувствительное к частоте оборудование, вам нужен преобразователь частоты. ИБП с двойным преобразованием энергии представляет собой почти готовый преобразователь частоты.

В самом деле, ведь выпрямитель этого ИБП может в принципе работать на одной частоте, а инвертор выдавать на своем выходе другую. Есть только одно принципиальное ограничение: невозможность синхронизации инвертора с линией статического байпаса из-за разных частот на входе и выходе. Это делает преобразователь частоты несколько менее надежным, чем сам по себе ИБП с двойным преобразованием. Другая особенность: преобразователь частоты должен иметь мощность, соответствующую максимальному возможному току нагрузки, включая все стартовые и аварийные забросы, ведь у преобразователя частоты нет статического байпаса, на который система могла бы переключиться при перегрузке.

Для изготовления преобразователя частоты из трехфазного ИБП нужно разорвать цепь синхронизации, убрать статический байпас (или, вернее, не заказывать его при поставке) и настроить инвертор ИБП на работу на частоте 60 Гц. Для большинства трехфазных ИБП это не представляет проблемы, и преобразователь частоты может быть заказан просто при поставке.

ИБП с горячим резервированием

В некоторых случаях надежности даже самых лучших ИБП недостаточно. Так бывает, когда сбои питания просто недопустимы из-за необратимых последствий или очень больших потерь. Обычно в таких случаях в технике применяют дублирование или многократное резервирование блоков, от которых зависит надежность системы. Есть такая возможность и для трехфазных источников бесперебойного питания. Даже если в конструкцию ИБП стандартно не заложено резервирование узлов, большинство трехфазных ИБП допускают резервирование на более высоком уровне. Резервируется целиком ИБП. Простейшим случаем резервирования ИБП является использование двух обычных серийных ИБП в схеме, в которой один ИБП подключен к входу байпаса другого ИБП.

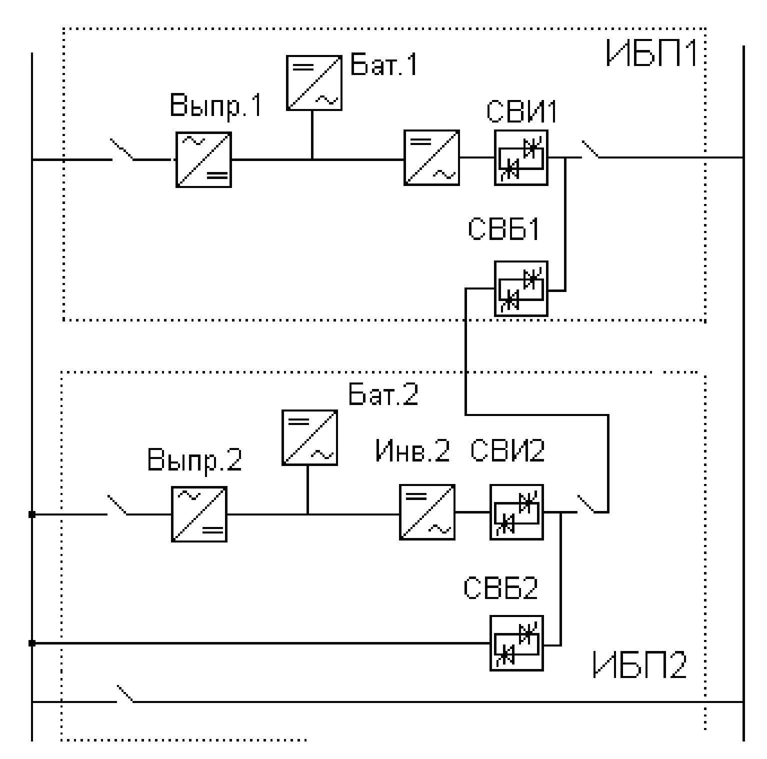


Рис. 19а. Последовательное соединение двух трехфазных ИБП

На рисунке 19а приведена схема двух последовательно соединенным трехфазных ИБП. Для упрощения на рисунке приведена, так называемая, однолинейная схема, на которой трем проводам трехфазной системы переменного тока соответствует одна линия. Однолинейные схемы часто применяются в случаях, когда особенности трехфазной сети не накладывают отпечаток на свойства рассматриваемого прибора. Оба ИБП постоянно работают. Основной ИБП питает нагрузку, а вспомогательный ИБП работает на холостом ходу. В случае выхода из строя основного ИБП, нагрузка питается не от статического байпаса, как в обычном ИБП, а от вспомогательного ИБП. Только при выходе из строя второго ИБП, нагрузка переключается на работу от статического байпаса.

Система из двух последовательно соединенных ИБП может работать на шести основных режимах.

А. Нормальная работа. Выпрямители 1 и 2 питают инверторы 1 и 2 и, при необходимости заряжают батареи 1 и 2. Инвертор 1 подключен к нагрузке (статический выключатель инвертора 1 замкнут) и питает ее стабилизированным и защищенным от сбоев напряжением. Инвертор 2 работает на холостом ходу и готов "подхватить" нагрузку, если инвертор 1 выйдет из строя. Оба статических выключателя байпаса разомкнуты.

Для обычного ИБП с двойным преобразованием на режиме работы от сети допустим (при сохранении гарантированного питания) только один сбой в системе. Этим сбоем может быть либо выход из строя элемента ИБП (например инвертора) или сбой электрической сети.

Для двух последовательно соединенных ИБП с на этом режиме работы допустимы два сбоя в системе: выход из строя какого-либо элемента основного ИБП и сбой электрической сети. Даже при последовательном или одновременном возникновении двух сбоев питание нагрузки будет продолжаться от источника гарантированного питания.

Б. Работа от батареи 1. Выпрямитель 1 не может питать инвертор и батарею. Чаще всего это происходит из-за отключения напряжения в электрической сети, но причиной может быть и выход из строя выпрямителя. Состояние инвертора 2 в этом случае зависит от работы выпрямителя 2. Если выпрямитель 2 работает (например он подключен к другой электрической сети или он исправен, в отличие от выпрямителя 1), то инвертор 2

также может работать, но работать на холостом ходу, т.к. он "не знает", что с первым ИБП системы что-то случилось. После исчерпания заряда батареи 1, инвертор 1 отключится и система постарается найти другой источник электроснабжения нагрузки. Им, вероятно, окажется инвертор2. Тогда система перейдет к другому режиму работы.

Если в основном ИБП возникает еще одна неисправность, или батарея 1 полностью разряжается, то система переключается на работу от вспомогательного ИБП.

Таким образом даже при двух сбоях: неисправности основного ИБП и сбое сети нагрузка продолжает питаться от источника гарантированного питания.

В. Работа от инвертора 2. В этом случае инвертор 1 не работает (из-за выхода из строя или полного разряда батареи1). СВИ1 разомкнут, СВБ1 замкнут, СВИ2 замкнут и инвертор 2 питает нагрузку. Выпрямитель 2, если в сети есть напряжение, а сам выпрямитель исправен, питает инвертор и батарею.

На этом режиме работы допустим один сбой в системе: сбой электрической сети. При возникновении второго сбоя в системе (выходе из строя какого-либо элемента вспомогательного ИБП) электропитание нагрузки не прерывается, но нагрузка питается уже не от источника гарантированного питания, а через статический байпас, т.е. попросту от сети.

Г. Работа от батареи 2. Наиболее часто такая ситуация может возникнуть после отключения напряжения в сети и полного разряда батареи 1. Можно придумать и более экзотическую последовательность событий. Но в любом случае, инвертор 2 питает нагругку, питаясь, в свою очередь, от батареи. Инвертор 1 в этом случае отключен. Выпрямитель 1, скорее всего, тоже не работает (хотя он может работать, если он исправен и в сети есть напряжение).

После разряда батареи 2 система переключится на работу от статического байпаса (если в сети есть нормальное напряжение) или обесточит нагрузку.

Д. Работа через статический байпас. В случае выхода из строя обоих инверторов, статические переключатели СВИ1 и СВИ2 размыкаются, а статические переключатели СВБ1 и СВБ2 замыкаются. Нагрузка начинает питаться от электрической сети.

Переход системы к работе через статический байпас происходит при перегрузке системы, полном разряде всех батарей или в случае выхода из строя двух инверторов.

На этом режиме работы выпрямители, если они исправны, подзаряжают батареи. Инверторы не работают. Нагрузка питается через статический байпас.

Переключение системы на работу через статический байпас происходит без прерывания питания нагрузки: при необходимости переключения сначала замыкается тиристорный переключатель статического байпаса, и только затем размыкается тиристорный переключатель на выходе того инвертора, от которого нагрузка питалась перед переключением.

Е. Ручной (сервисный) байпас. Если ИБП вышел из строя, а ответственную нагрузку нельзя обесточить, то оба ИБП системы с соблюдением специальной процедуры (которая обеспечивает безразрыное переключение) переключают на ручной байпас. после этого можно производить ремонт ИБП.

Преимуществом рассмотренной системы с последовательным соединением двух ИБП является простота. Не нужны никакие дополнительные элементы, каждый из ИБП работает в своем штатном режиме. С точки зрения надежности, эта схема совсем не плоха:- в ней нет никакой лишней, (связанной с резервированием) электроники, соответственно и меньше узлов, которые могут выйти из строя.

Однако у такого соединения ИБП есть и недостатки. Вот некоторые из них.

1. Покупая такую систему, вы покупаете второй байпас (на нашей схеме – он первый – СВБ1), который, вообще говоря, не нужен – ведь все необходимые переключения могут быть произведены и без него.

2. Весь второй ИБП выполняет только одну функцию – резервирование. Он потребляет электроэнергию, работая на холостом ходу и вообще не делает ничего полезного (разумеется за исключением того времени, когда первый ИБП отказывается питать нагрузку). Некоторые производители предлагают "готовые" системы ИБП с горячим резервированием. Это значит, что вы покупаете систему, специально (еще на заводе) испытанную в режиме с горячим резервированием. Схема такой системы приведена на рис. 19б.

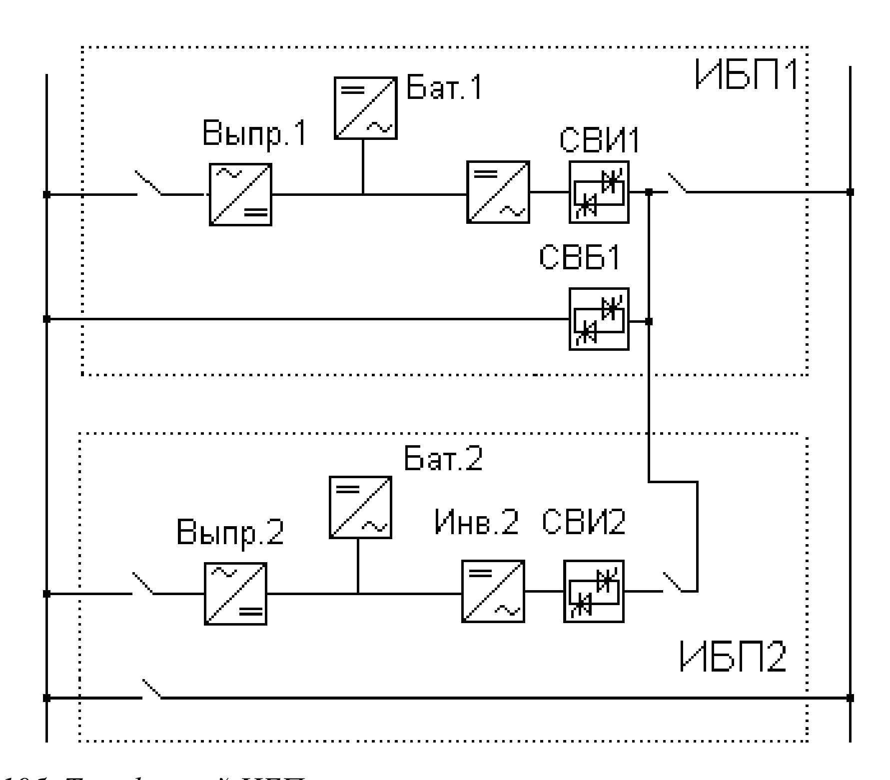


Рис.19б. Трехфазный ИБП с горячим резервированием

Принципиальных отличий от схемы с последовательным соединением ИБП немного.

1. У второго ИБП отсутствует байпас.

2. Для синхронизации между инвертором 2 и байпасом появляется специальный информационный кабель между ИБП (на рисунке не показан). Поэтому такой ИБП с горячим резервированием может работать на тех же шести режимах работы, что и система с последовательным подключением двух ИБП. Преимущество "готового" ИБП с резервированием, пожалуй только одно – он испытан на заводе-производителе в той же комплектации, в которой будет эксплуатироваться.

Для расмотренных схем с резервированием иногда применяют одно важное упрощение системы. Ведь можно отказаться от резервирования аккумуляторной батареи, сохранив резервирование всей силовой электроники. В этом случае оба ИБП будут работать от одной батареи (оба выпрямителя будут ее заряжать, а оба инвертора питаться от нее в случае сбоя электрической сети). Применение схемы с общей бетареей позволяет сэкономить значительную сумму – стоимость батареи.

Недостатков у схемы с общей батареей много:

1. Не все ИБП могут работать с общей батареей.

2. Батарея, как и другие элементы ИБП обладает конечной надежностью. Выход из строя одного аккумулятора или потеря контакта в одном соединении могут сделать всю системы ИБП с горячим резервирование бесполезной.

3. В случае выхода из строя одного выпрямителя, общая батарея может быть выведена из строя. Этот последний недостаток, на мой взгляд, является решающим для общей рекомендации – не применять схемы с общей батареей.

Параллельная работа нескольких ИБП

Как вы могли заметить, в случае горячего резервирования, ИБП резервируется не целиком. Байпас остается общим для обоих ИБП. Существует другая возможность резервирования на уровне ИБП – параллельная работа нескольких ИБП. Входы и выходы нескольких ИБП подключаются к общим входным и выходным шинам. Каждый ИБП сохраняет все свои элементы (иногда кроме сервисного байпаса). Поэтому выход из строя статического байпаса для такой системы просто мелкая неприятность.

На рисунке 20 приведена схема параллельной работы нескольких ИБП.

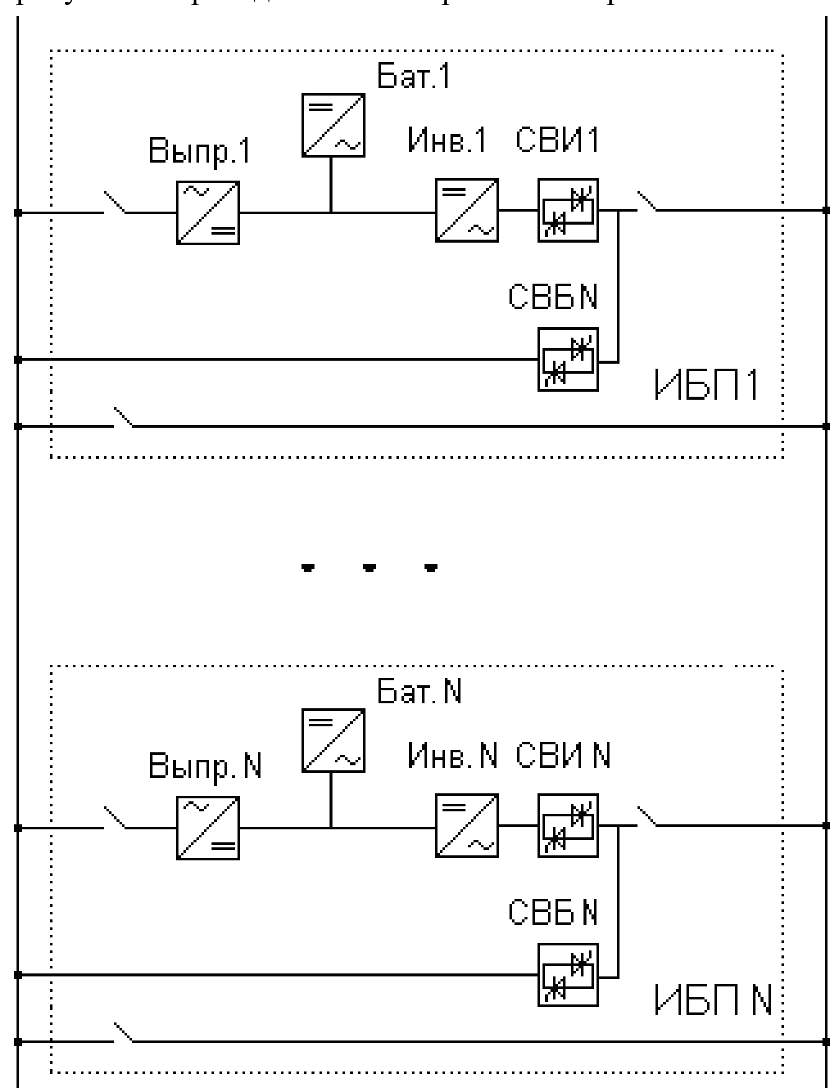


Рис.20. Параллельная работа ИБП

На рисунке приведена схема параллельной системы с раздельными сервисными байпасами. Схема система с общим байпасом вполне ясна и без чертежа. Ее особенностью является то, что для переключения системы в целом на сервисный байпас нужно управлять одним переключателем вместо нескольких. На рисунке предполагается, что между ИБП 1 и ИБП N Могут располагаться другие ИБП. Разные производителю (и для разных моделей) устанавливают свои максимальные количества параллеьно работающих ИБП. Насколько мне известно, эта величина изменяется от 2 до 8. Все ИБП параллельной системы работают на общую нагрузку. Суммарная мощность параллельной системы равна произведению мощности одного ИБП на количество ИБП в системе. Таким образом параллельная работа нескольких ИБП может применяться (и в основном применяется) не столько для увеличения надежности системы бесперебойного питания, но для увеличения ее мощности.

Рассмотрим режимы работы параллельной системы

Нормальная работа (работа от сети). Надежность

Когда в сети есть напряжение, достаточное для нормальной работы, выпрямители всех ИБП преобразуют переменное напряжение сети в постоянное, заряжая батареи и питая инверторы.

Инверторы, в свою очередь, преобразуют постоянное напряжение в переменное и питают нагрузку. Специальная управляющая электроника параллельной системы следит за равномерным распределением нагрузки между ИБП. В некоторых ИБП распределение нагрузки между ИБП производится без использования специальной параллельной электроники. Такие приборы выпускаются "готовыми к параллельной работе", и для использования их в параллельной системе достаточно установить плату синхронизации. Есть и ИБП, работающие параллельго без специальной электроники. В таком случае количество параллельно работающих ИБП – не более двух. В рассматриваемом режиме работы в системе допустимо несколько сбоев. Их количество зависит от числа ИБП в системе и действующей нагрузки.

Пусть в системе 3 ИБП мощностью по 100 кВА, а нагрузка равна 90 кВА. При таком соотношении числа ИБП и их мощностей в системе допустимы следующие сбои.

Сбой питания (исчезновение напряжения в сети)

Выход из строя любого из инверторов, скажем для определенности, инвертора 1. Нагрузка распределяется между двумя другими ИБП. Если в сети есть напряжение, все выпрямители системы работают.

Выход из строя инвертора 2. Нагрузка питается от инвертора 3, поскольку мощность, потребляемая нагрузкой меньше мощности одного ИБП. Если в сети есть напряжение, все выпрямители системы продолжают работать.

Выход из строя инвертора 3. Система переключается на работу через статический байпас. Нагрузка питается напрямую от сети. При наличии в сети нормального напряжения, все выпрямители работают и продолжают заряжать батареи. При любом последующем сбое (поломке статического байпаса или сбое сети) питание нагрузки прекращается. Для того, чтобы параллельная система допускала большое число сбоев, система должна быть сильно недогружена и должна включать большое число ИБП. Например, если нагрузка в приведенном выше примере будет составлять 250 кВА, то система допускает только один сбой: сбой сети или поломку инвертора. В отношении количества допустимых сбоев такая система эквивалентна одиночному ИБП. Это, кстати, не значит, что надежность такой параллельной системы будет такая же, как у одиночного ИБП. Она будет ниже, поскольку параллельная система намного сложнее одиночного ИБП и (при почти предельной нагрузке) не имеет дополнительного резервирования, компенсирующего эту сложность.

Вопрос надежности параллельной системы ИБП не может быть решен однозначно. Надежность зависит от большого числа параметров: количества ИБП в системе (причем увеличение количества ИБП до бесконечности снижает надежность – система становится слишком сложной и сложно управляемой – впрочем максимальное количество параллельно работающих модулей для известных мне ИБП не превышает 8), нагрузки системы (т.е. соотношения номинальной суммарной мощности системы и действующей нагрузки), примененной схемы параллельной работы (т.е. есть ли в системе специальная электроника для обеспечения распределения нагрузки по ИБП), технологии работы предприятия. Таким образом, если единственной целью является увеличение надежности системы, то следует серьезно рассмотреть возможность использование ИБП с горячим резервированием – его надежность не зависит от обстоятельств и в силу относительной простоты схемы практически всегда выше надежности параллельной системы.

Недогруженная система из нескольких параллельно работающих ИБП, которая способна реализвать описанную выше логику управления, часто также называется параллельной системой с резервированием.

Работа с частичной нагрузкой

Если нагрузка параллельной системы такова, что с ней может справиться меньшее, чем есть в системе количество ИБП, то инверторы "лишних" ИБП могут быть отключены. В некоторых ИБП такая логика управления подразумевается по умолчанию, а другие модели вообще лишены возможности работы в таком режиме. Инверторы, оставшиеся включенными, питают нагрузку. Коэффициент полезного действия системы при этом несколько возрастает. Обычно в этом режиме работы предусматривается некоторая избыточность, т.е. количестов работающих инверторов больше, чем необходимо для питания нагрузки. Тем самым обеспечивается резервирование. Все выпрямители системы продолжают работать, включая выпрямители тех ИБП, инверторы которых отключены.

Работа от батареи

В случае исчезновения напряжения в электрической сети, параллельная система переходит на работу от батареи. Все выпрямители системы не работают, инверторы питают нагрузку, получая энергию от батареи. В этом режиме работы (естественно) отсутствует напряжение в электрической сети, которое при нормальной работе было для ИБП не только источником энергии, но и источником сигнала синхронизации выходного напряжения. Поэтому функцию синхронизации берет на себя специальная параллельная электроника или выходная цепь ИБП, специально ориентированная на поддержание выходной частоты и фазы в соответствии с частотой и фазой выходного напряжения параллельно работающего ИБП.

Выход из строя выпрямителя

Это режим, при котором вышли из строя один или несколько выпрямителей. ИБП, выпрямители которых вышли из строя, продолжают питать нагрузку, расходуя заряд своей батареи. Они выдает сигнал "неисправность выпрямителя". Остальные ИБП продолжают работать нормально. После того, как заряд разряжающихся батарей будет полностью исчерпан, все зависит от соотношения мощности нагрузки и суммарной мощности ИБП с исправными выпрямителями. Если нагрузка не превышает перегрузочной способности этих ИБП, то питание нагрузки продолжится (если у системы остался значительный запас мощности, то в этом режиме работы допустимо еще несколько сбоев системы). В случае, если нагрузка ИБП превышает перегрузочную способность оставшихся ИБП, то система переходит к режиму работы через статический байпас.

Выход из строя инвертора

Если оставшиеся в работоспособном состоянии инверторы могут питать нагрузку, то нагрузка продолжает работать, питаясь от них. Если мощности работоспособных инверторов недостаточно, система переходит в режим работы от статического байпаса.

Выпрямители всех ИБП могут заряжать батареи, или ИБП с неисправными инверторами могут быть полностью отключены для выполнения ремонта.

Работа от статического байпаса

Если суммарной мощности всех исправных инверторов параллельной системы не достаточно для поддержания работы нагрузки, система переходит к работе через статический байпас. Статические переключатели всех инверторов разомкнуты (исправные инверторы могут продолжать работать). Если нагрузка уменьшается, например в результате отключения части оборудования, параллельная система автоматически переключается на нормальный режим работы.

В случае одиночного ИБП с двойным преобразованием работа через статический байпас является практически последней возможностью поддержания работы нагрузки. В самом деле, ведь достаточно выхода из строя статического переключателя, и нагрузка будет обесточена. При работе параллельной системы через статический байпас допустимо некоторое количество сбоев системы. Статический байпас способен выдерживать намного больший ток, чем инвертор. Поэтому даже в случае выхода из строя одного или нескольких статических переключателей, нагрузка возможно не будет обесточена, если суммарный допустимый ток оставшихся работоспособными статических переключателей окажется достаточен для работы. Конкретное количество допустимых сбоев системы в этом режиме работы зависит от числа ИБП в системе, допустимого тока статического переключателя и величины нагрузки.

Сервисный байпас

Если нужно провести с параллельной системой ремонтные или регламентные работы, то система может быть отключена от нагрузки с помощью ручного переключателя сервисного байпаса. Нагрузка питается от сети, все элементы параллельной системы ИБП, кроме батарей, обесточены. Как и в случае системы с горячим резервированием, возможен вариант одного общего внешнего сервисного байпаса или нескольких сервисных байпасов, встроенных в отдельные ИБП. В последнем случае при использовании сервисного байпаса нужно иметь в виду соотношение номинального тока сервисного байпаса и действующей мощности нагрузки. Другими словами, нужно включить столько сервисных байпасов, чтобы нагрузка не превышала их суумарный номинальных ток.

Глава 8. Основные электрические параметры ИБП

Электрические колебания и их характеристики

Классические электрические колебания, возникающие например в колебательном контуре или на выходе генератора переменного тока, являются гармоническими. Это значит, что зависимость интенсивности колебания (мгновенного значения напряжения или тока) от времени может быть представлена графически в виде синусоиды. В реальной жизни вид осциллограммы напряжения или тока может несколько отклоняться от чистой синусоиды. Посмотрим, какими параметрами характеризуется электрический колебательный процесс.

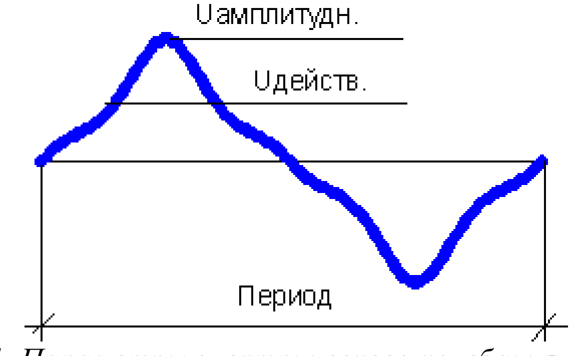


Рис. 21. Параметры электрического колебания

Амплитудным значением или амплитудой называется максимальное отклонение колеблющейся величины от нулевого уровня.

Действующее значение тока или напряжения численно равно такому постоянному току или напряжению постоянного тока, которое производит в проводнике такой же тепловой эффект. Действующее значение напряжения или тока равно среднему квадратическому значению соотвествующей величины за период колебаний.

Коэффициентом амплитуды или пик-фактором называется отношение амплитуды колебания к его действующему значению. Он всегда больше или равен 1. Для гармонического колебания (синусоидального напряжения или тока) коэффициент амплитуды равен 1.41 (точнее корень из двух). Пик-фактор несинусодальных колебаний может сильно отличаться от этой величины.

Коэффициент амплитуды характеризует несинусоидальное колебание не однозначно. Разные по форме колебательные процессы могут иметь одинаковые коэффициенты амплитуды.

Для того, чтобы полностью охарактеризовать сложное периодическое колебание, его искусственно представляют в виде суммы нескольких гармонических колебаний кратных частот (гармоник). Так, например, для того, чтобы описать несинсоидальный процесс с основной частотой (первой гармоникой), равной 50 Гц, его представляют в виде суммы колебательных процессов с частотами 50 Гц, 100 Гц (вторая гармоника), 150 Гц (третья гармоника) и т.д. Проводимый таким образом анализ сложного колебания называется гармоническим анализом или анализом Фурье (по имени французского математика и физика). Результатом гармонического анализа является так называемый спектр колебательного процесса – зависимость интенсивности каждой гармоники от ее номера.

На рис. 22 представлен произвольный колебательный процесс и начало его спектра.

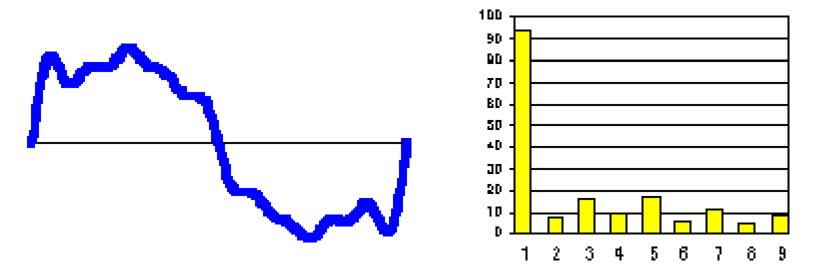


Рис. 22. Электрическое колебание и его спектр

Для точного представления сложного колебания нужно учитывать по меньшей мере несколько десятков гармоник.

В качестве интегральной характеристики степени отличия формы колебательного процесса от синусоиды в России часто используют коэффициент гармонических искажений (коэффициент гармоник) – Кг. Он показывает какая доля энергии содержится в старших гармониках, по сравнению с энергией, содержащейся в первой гармонике. В других странах для этого обычно используют полный коэффициент гармонических искажений (англ.: total harmonic distortion factor – THDF). Он показывает, какая доля энергии содержится в сташей гармонике, по сравнению с полной энергией колебания. Понятно, что при почти синусоидальных процессах Кг и THDF практически равны. Но при значительных искажениях они различаются. В таблице приведены несколько точек, характеризующих это различие.

Кг,%	THDF,%
0	0
10	10
20	20
30	29
40	37
50	45
60	51
70	57

Коэффициент гармонических искажений чисто синусоидального колебательного процесса равен нулю (вся энергия содержится в основной гармонике). Обычно считается, что колебание слабо отличается от синусоидального, если коэффициент гармонических искажений не превышает 5%.

Линейные и нелинейные нагрузки

Если мы подключим к источнику напряжения постоянного тока резистор и будем менять величину напряжения, ток, протекающий в цепи, будет меняться пропорционально напряжению. Если мы подключим к источнику синусоидального переменного напряжения (например к сети или к ИБП с синусоидальным выходным напряжением) резистор, мгновенное значение тока в цепи будет пропорционально мгновенному значению напряжения. Следовательно ток в цепи будет синусоидальным, причем синфазным напряжению (т.е. максимальные значения тока будут наблюдаться точно в те же моменты вермени, что и максимальные значения напряжения.

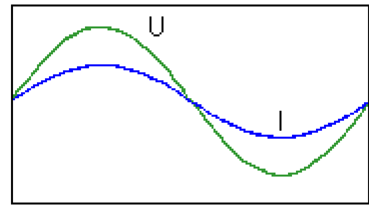


Рис. 23а. Ток потребления резистора в цепи переменного тока

Если мы подключим к источнику синусоидального напряжения емкость, индуктивность или любое сочетание их с резисторами, ток в цепи по-прежнему будет синусоидальным (см. рис 23б).

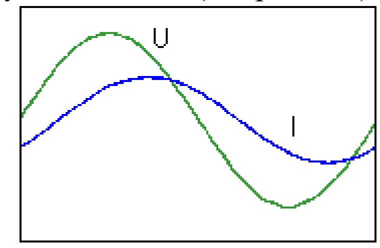


Рис. 23б. Ток потребления емкостной нагрузки в цепи переменного тока

Но в этом случае, максимумы тока будут опережать максимумы напряжения (как на рисунке) или отставать от них. В зависимости от преобладания в цепи емкостей или индуктивностей, такую нагрузку называют екостной или индуктивной. А в совокупности все нагрузки (потребители электроэнергии) с синусоидальным током потребления (при синусоидальном напряжении) называются линейными.

Импульсный блок питания (например компьютера) является нелинейной нагрузкой. Если компьютер подключить к источнику синусоидального напряжения, то зависимость тока, потребляемого компьютером, от времени будет иметь вид, показанный на рис. 23в.

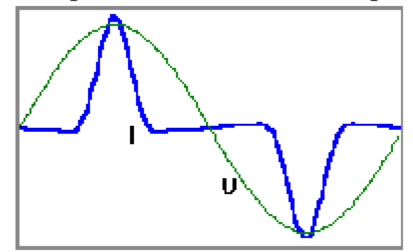


Рис. 23в. Ток потребления нелинейной нагрузки в цепи переменного тока

На рисунке хорошо видно, что компьютер потребляет ток только в моменты, когда напряжение близко к своему максимуму, и не потребляет ток при низком напряжении. Форму тока, потребляемого нелинейной нагрузкой можно охарактеризовать теми же параметрами, что и любой колебательный процесс.

Коэффициент амплитуды

Коэффициент амплитуды (пик-фактор) тока потребления импульсных блоков питания всегда намного больше единицы. Обычно он находится в диапазоне от 2 до 3, но может и быть более 5. Источник бесперебойного питания должен быть рассчитан на работу с такими пик-факторами. Т.е. ИБП должен не только обеспечивать действующее значение тока, соответствующее максимальной нагрузке, но и максимальное (амплитудное) значение тока, существенно превышающее амплитудуу синусоидального тока с таким же действующим значением. Величина пик-фактора не является постоянной характеристикой блока питания. Она – продукт взаимодействия блока питания, его нагрузки (например компьютера) и источника тока, к которому он подключен. Так, при питании от сети он может быть равен 2 или 3. Если компьютер питается от ИБП с переключением, имеющего выходное напряжение в виде меандра с паузой, то пик-фактор уменьшается до 1.8-2. Подключение компьютера к феррорезонансному трансформатору позволяет уменьшить пик-фактор еще более значительно. Это уменьшает нагрузку на блок питания компьютера и увеличивает его долговечность.

С другой стороны, если блок питания компьютера оставить работать на холостом ходу или с очень маленькой нагрузкой (например взять блок питания мощностью 400 Вт и поставить его в простую персоналку минимальной мощности), то коэффициент амплитуды тока может быть очень велик (например 5). Если тот же блок питания нагрузить полностью (скажем установить его в файловый сервер с большими дисками, модемами и др.), то коэффициент амплитуды уменьшится (и составит например 2.5).

Гармоники

На рис. 24 представлен примерный вид спектра тока импульсного блока питания. Вернее сказать, что это начало спектра. Полный спектр тока импульсного блока питания включает многие десятки гармоник.

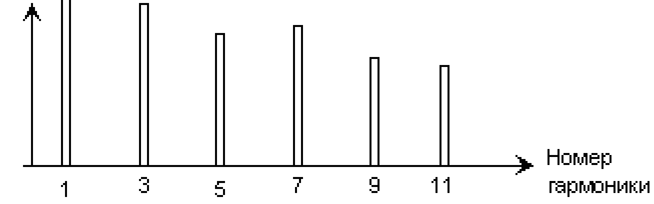


Рис. 24. Начало спектра тока импульсного блока питания

В токе потребления импульсного блока питания присутствует набор нечетных гармоник, амплитуда которых более или менее монотонно уменьшается с номером гармоники. Если компьютеры подключены к электрической сети, в которую включены и другие (и, в основном, линейные) потребители электроэнергии, то отличие формы тока, потребляемого блоком питания компьютера, от синусоиды не оказывает влияния ни на сами компьютеры, ни на другое оборудование, подключенное к той же электрической сети. Если в сеть включены в основном компьютеры и их суммарная мощность сопоставима с характерной мощностью электрической сети, то напряжение в сети может перестать быть синусоидальным. Это является признаком перегрузки электрической сети нелинейными нагрузками, и может служить причиной сбоев в работе чуствительного оборудования.

Первым признаком перегрузки сети компьютерными нагрузками является проявление самой интенсивной – третьей гармоники. Ее появление можно определить, даже не имея анализатора спектра, способного построить красивую картинку, вроде той, что приведена на рис. 24. Для элементарного анализа достаточно простейшего осциллографа. Если у синусоиды появляется плоская вершина (как бы "выеденная" большим импульсным током), – это первый признак: в сети появилась третья гармоника, сеть слегка перегружена нелинейными нагрузками. Если вершина синусоиды начинает заостряться, значит кроме третьей в сети появилась и пятая гармоника: сеть сильно перегружена нелинейными нагрузками. Если на синусоиде появились волны – значит уже и седьмая гармоника видна невооруженным взглядом: нужно принимать какие-то меры.

Форма выходного напряжения ИБП

Источник бесперебойного питания является временным заменителем электрической сети для подключенного к нему оборудования. Качество этой замены сильно зависит от типа и марки ИБП. В электрической сети напряжение имеет синусоидальную форму или форму, близкую к синусоиде. Все высококлассные ИБП тоже имеют синусоидальную форму выходного сигнала, т.е. обеспечивают электропитание практически не отличающееся от обычной сети или даже имеют синусоиду более высокого качества.

На выходе ИБП (как и в сети) синусоида может быть не совсем идеальной. Для определения коэффициента гармонических искажений обычно нужно специальное оборудование. Но можно приблизительно оценить величину полного коэффициента гармонических искажений просто по осциллограмме напряжения. Если вы видите слабые искажения, то коэффициент гармонических искажений около 5%. Если искажения очень хорошо заметны, коэффициент гармонических искажений примерно равен 10%.

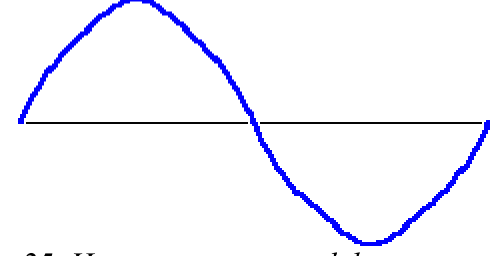


Рис. 25. Напряжение с коэффициентом гармонических искажений 5%

При коэффициенте гармонических искажений более 20% у вас "не поднимется рука" назвать форму кривой напряжения синусоидой. Этот способ, как и любое упрощение, имеет свои ограничения. В частности, чем больше номер гармоники, тем при меньшем коэффициенте гармонических искажений ее хорошо видно. Синусоидальное выходное напряжение имеют все ИБП с двойным преобразованием, феррорезонансные ИБП и большинство ИБП, взаимодействующих с сетью. Для всех этих ИБП полный коэффициент гармонических искажений выходного напряжения, равный 5%, является граничным. Если

коэффициент гармонических искажений на выходе ИБП меньше 5%, то ИБП по этому параметру можно считать "хорошим". Если эта величина больше 5%, то форма выходного сигнала ИБП оставляет желать лучшего.

Обычно производители указывают степень гармонических искажений в общем перечне технических характеристик ИБП. Почти всегда указывается только одна величина коэффициента гармонических искажений, относящаяся к некоторым средним (если не сказать идеальным) условиям – например при линейной нагрузке. Следует иметь в виду, что наиболее значительный искажения формы выходного напряжения могут происходить в различных граничных условиях, а также при параметрах не характерных для обычной работы ИБП. Такими предельными условиями (их набор или сочетание может быть разным для разных моделей ИБП) могут быть максимальная нагрузка или холостой ход (отсутствие нагрузки); предельный или запредельный коэффициент мощности (например меньший, чем 0.5), слишком большой пик-фактор. Серьезные искажения выходное напряжение может претерпевать также при различных переходных процессах (например при ступенчатом изменении нагрузки).

На режиме работы от сети ИБП с переключением и взаимодействующий с сетью питают свою нагрузку отфильтрованным сетевым напряжением. То есть они в этом случае не являются независимыми источниками питания. Таким источником является электрическая сеть. Это значит, что коэффициент гармонических искажений на входе блока питания компьютера будет примерно таким же, как и без ИБП. Это так, поскольку фильтры этих ИБП не предназначены для фильтрации низкочастотных гармоник, и свободно их пропускают. Соответственно, если в сети были сильные гармонические искажения до установки ИБП (из-за общей перегрузки сети или большой доли мощности нелинейных нагрузок), они такими и останутся. Если этих искажений не было, они и не появятся.

Иначе обстоит дело с феррорезонансным ИБП и ИБП с двойным преобразованием энергии. Они являются в рассматриваемом смысле независимыми источниками питания. Поэтому все сказанное выше относительно искажений формы сетевого напряжения нужно в этом случае отнести к выходному напряжению ИБП. Если эти ИБП сильно (почти до номинальной мощности) нагружены нелинейными нагрузками, то на входе этих нагрузок могут появиться искажения основной гармоники, которых не было без ИБП. С другой стороны, если при работе от сети наблюдались гармонические искажения, то они могут пропасть после установки ИБП, если ИБП недогружен. Если нелинейная нагрузка on-line ИБП составляет более двух третей его полной мощности, то напряжение на выходе ИБП может быть заметно искажено. Не опасное само по себе для компьютеров искажение формы напряжения является нехорошим признаком того, что нагрузка ИБП слишком велика. Лучше установить ИБП большей мощности или отключить от него какое-либо оборудование.

Некоторые высококлассные ИБП с двойным преобразованием оснащены специальной управляющей цепью, назначением которой является корректировка формы выходного напряжения даже при работе с нелинейными нагрузками большой мощности. На выходе этих ИБП напряжение не имеет заметных гармонических искажений, даже в случае, если ИБП питает нелинейные нагрузки значительной мощности. Разумеется все компьютеры и другое оборудование, предназначенное для питания от сети переменного тока, рассчитано на синусоидальное напряжение. Вряд ли какой-нибудь производитель этой техники готов гарантировать нормальную работу его оборудования с сильно несинусоидальным напряжением.

Тем не менее, большинство потребителей электрической энергии могут питаться напряжением переменного тока несинусоидальной формы. Причем для разного оборудования более важны разные характеристики синусоидального напряжения питания. Например оборудование, оснащенное импульсными блоками питания (скажем, персональные компьютеры) потребляет ток только в моменты времени, когда напряжение

очень близко к максимуму. Потому для питания такого оборудования важно правильное амплитудное значение напряжения. Оборудование, имеющее непосредственно питаемые электрические двигатели и нагреватели, требует номинального действующего значения напряжения. Синусоидальное напряжение отвечает требованиям любой из этих нагрузок. Но почти все виды нагрузок (оборудования), в том числе компьютеры, может более или менее нормально работать с напряжением, которое очень сильно отличается от синусоидального. Этим обстоятельством широко пользуются производители ИБП с переключением.

Раньше (очень давно) некоторые ИБП с переключением имели выходное напряжение в форме меандра (прямоугольных импульсов разной полярности).

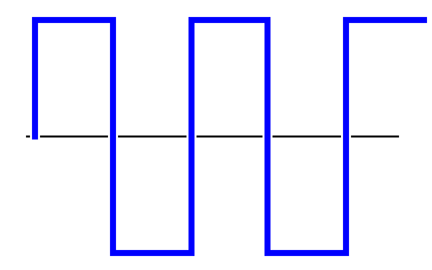


Рис. 26. Меандр

Когда мы заменяем синусоидальное напряжение тем или иным его приближением, мы должны выбрать параметры этого приближения такими, чтобы они были наиболее близки параметрам заменяемой синусоиды. Но у меандра амплитудное и действующее значения напряжения равны друг другу (коэффициент амплитуды равен единице). Поэтому мы не можем сделать напряжение прямоугольной формы таким, чтобы оно одновременно удовлетворяло требованиям различных нагрузок. В попытках найти компромисс производители таких ИБП устанавливали прямоугольное напряжение равным некоторому значению, лежащему между амплитудным и действующим. В результате получалось, что некоторые нагрузки (требующие правильного действующего значения напряжения) могли выйти из строя из-за избыточного напряжения, в то время, как другому оборудованию (потребляющему ток при напряжениях, близких к максимуму) это напряжение было слишком мало. Для того, чтобы среднеквадратическое и амплитудное значение прямоугольного напряжения были равны соответствующим значениям синусоидального напряжения, производители современных ИБП с переключением слегка изменили форму меандра, введя паузу между прямоугольными импульсами разной полярности.

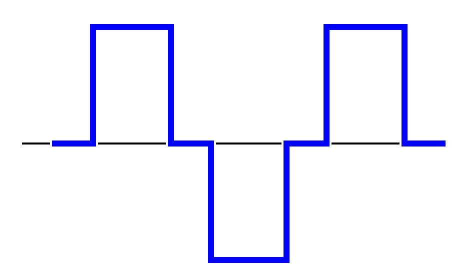


Рис. 27. Меандр с паузой

Напряжение такой формы производители ИБП называют "ступенчатым приближением к синусоиде" (англ. – stepped approximation to a sine wave). Эта форма кривой позволяет, при правильно подобранных амплитуде напряжения и длительности пауз, выполнить требования разных нагрузок. Например при длительности паузы около 3 мс (для частоты 50 Гц) действующее значение напряжения совпадает с действующим значением синусоидального напряжения той же амплитуды.

Выходное напряжение всех попадавшихся мне ИБП с переключением, присутствующим на рынке России, имеет вид ступенчатого приближения к синусоиде. Показанная на рис. 27 форма выходного напряжения – это идеал, к которому должны по идее стремиться производители ИБП. Реальная форма выходного напряжения ИБП с переключением конечно же отличается от идеала. Иногда производители ИБП соблюдают декларируемое равенство действующего значения напряжения на выходе ИБП действующему значению напряжения сети весьма приблизительно. Длительность пауз, и амплитуда прямоугольного напряжения заметно отклоняются от расчетных значений. Эти отклонения видимо не могут служить основанием для того, чтобы объявить тот или иной ИБП плохим. Ведь все они нормально работают с персональными компьютерами, для работы с которыми они собственно и предназначены.

Реальная форма выходного напряжения ИБП с переключением приведена на рис. 28.

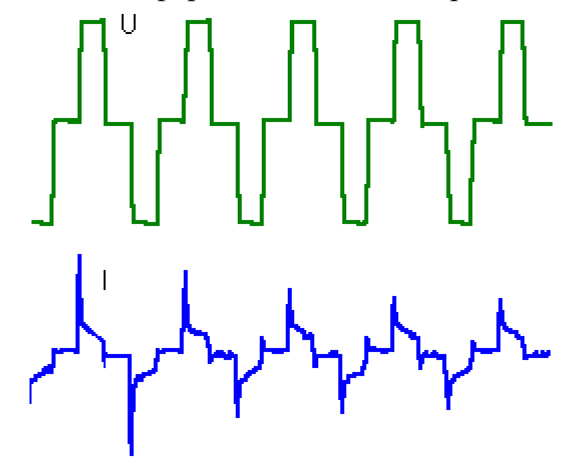


Рис. 28. Осциллограммы напряжения и тока персонального компьютера, подключенного к ИБП с переключением

На той же осциллограмме приведена и кривая потребляемого компьютером тока. Это позволяет оценить, насколько "несладко" приходится компьютеру, защищаемому ИБП с переключением. Но, как ни странно, сильные импульсные токи, потребляемые компьютером в моменты начала и конца прямоугольного импульса, не влияют на работу компьютера. Они полностью подавляются блоком питания компьютера, на выходе которого наблюдается постоянное напряжение с обычным уровнем пульсаций. Не следует также забывать, что компьютер, защищаемый ИБП с переключением, питается несинусоидальным напряжением только в моменты работы ИБП от батареи (т.е. очень кратковременно). При работе ИБП от сети, компьютер питается сетевым напряжением, сглаженным с помощью встроенных в ИБП фильтров шумов и импульсов. Возможность применения ИБП с переключением для питания другого оборудования (не компьютеров) требует, вообще говоря, проверки в каждом подобном случае. Известны случаи, когда с такими ИБП отказывались работать некоторые принтеры. С другой стороны, известны случай применения ИБП с переключением для защиты таких нетрадиционных нагрузок, как телефонные станции или кассовые аппараты с трансформаторными блоками питания.

К применению ИБП с переключением для питания приборов с трансформаторными блоками питания следует подходить с осторожностью. Дело в том, что обычные для трансформатора 5-10% потерь в присутствии гармоник увеличиваются пропорционально квадрату номер агармоники. Поэтому ресурс сильно нагруженных трансформаторов при питании напряжением в виде меандра может уменбшаться в десятки раз.

Как и у любого источника питания, форма выходного напряжения ИБП с переключением зависит от величины и характера нагрузки. Для ИБП, выпускаемых известными в мире фирмами эта зависимость обычно невелика. Однако некоторые ИБП имеют сильную зависимость формы (а иногда и амплитуды) выходного напряжения от

нагрузки. Некоторые из них не могут использоваться при малых нагрузках, поскольку имеют на выходе импульсное напряжение амплитудой до 800 В. Другие проверяются изготовителем только при работе с линейными нагрузками. Такие ИБП при работе с компьютером могут быть неустойчивы в моменты переключения. Сказанное показывает: не следует пользоваться ИБП малознакомых производителей или покупать такие ИБП у неспециализированных фирм.

Стабилизация и регулирование напряжения

Согласно действующему в России стандарту, напряжение в электрической сети должно находиться в пределах +10% и -10% от номинального напряжения. Для напряжения 220 В эти пределы имеют абсолютные значения 198 В и 242 В. В этом диапазоне напряжений должно нормально работать все питающееся от сети оборудование, от электрической лампочки до компьютера. К сожалению иногда напряжение выходит за пределы, установленные для него начальниками. В некоторых районах такие периоды повторяются с регулярностью восходов солнца. Владельцы компьютеров, работающих в этих условиях, конечно же склонны требовать, чтобы ИБП, защищающие их компьютеры, стабилизировали напряжение.

Два из рассмотренных нами типов источников бесперебойного питания стабилизируют напряжения, так сказать, по определению. Это on-line ИБП: с двойным преобразованием и феррорезонансный.

Точность стабилизации переменного напряжения на выходе ИБП с двойным преобразованием обычно около 1-3% при статической (т.е. не изменяющейся во времени) и сбалансированной (равномерно рапределенной по фазам для 3-х фазных ИБП) нагрузке. В случае резкого изменения нагрузки (например ее полного или неполного включения или выключения) погрешность стабилизации возрастает до примерно 10% для хороших ИБП. Не все производители ИБП указывают эту характеристику. В случае, когда она не указана, нужно быть очень осторожным, если для вас принципиальна работа ИБП при динамической нагрузке. При разбалансированной нагрузке (т.е. если нагрузка неравномерно распределена по фазам 3-х фазного ИБП) погрешность стабилизации также возрастает.

Существуют правда трехфазные ИБП с независимым регулированием напряжения в каждой из трех фаз. Разбалансированность нагрузки для таких ИБП не имеет значения. Диапазон входных напряжений, в котором происходит стабилизация напряжения, для ИБП с двойным преобразованием всегда совпадает с диапазоном допустимых входных напряжений (т.е. диапазоном напряжений, при котором ИБП работает от сети). Таким образом ИБП с двойным преобразованием не может не стабилизировать напряжение. Он выдает или стабильное выходное напряжение (при работе от сети или от батареи) или не выдает никакого. Диапазон входных напряжений для разных ИБП очень сильно разнится. Характерным является значение плюс минус 10-15% от номинального напряжения. Некоторые маломощные ИБП могут иметь диапазон входных напряжений от 100 до 280 вольт и даже шире (правда часто работа ИБП при минимальных значениях напряжения обеспечивается только при неполной нагрузке).

Если пользователя не устраивает диапазон входных напряжений ИБП с двойным преобразованием, то для некоторых моделей ИБП он может быть расширен за счет специальных ухищрений. Расширение диапазона входных напряжений (в тех редких случаях, когда оно возможно) должно производиться очень квалифицированным специалистом, который очень четко представляет, что он делает. Нужно иметь в виду, что ничто не дается бесплатно, и влюбом случае, за расширение диапазона входных напряжений придется чем-то заплатить – например надежностью ИБП или качеством напряжения, поступающего к нагрузке.

Для большинства ИБП с двойным преобразованием диапазон входных напряжений зависит от нагрузки. При меньшей нагрузке диапазон входных напряжений несколько расширяется.

Феррорезонансный ИБП стабилизирует напряжение за счет свойств феррорезонансного трансформатора. Погрешность стабилизации напряжения составляет 1-5% и зависит от нагрузки: при меньшей нагрузке погрешность уменьшается. Феррорезонансный трансформатор очень устойчив к любым переходным процессам. Поэтому погрешность стабилизации слабо изменяется при динамической нагрузке. Диапазон входных напряжений феррорезонансного ИБП сильно зависит от нагрузки. При малой нагрузке он может начинаться от 145 В. ИБП с переключением не обладают функцией стабилизации напряжения.

ИБП, взаимодействующие с сетью, могут ступенчато регулировать выходное напряжение. Ступенчатое регулирование напряжения реализовано за счет переключения нагрузки на работу от другой обмотки автотрансформатора. В простейшем случае существует только одна ступень повышения напряжения, срабатывающая при уменьшении напряжения сети. Более современные взаимодействующие с сетью ИБП регулируют напряжение и при его повышении. Например ИБП Smart-UPS фирмы American Power Conversion переключает нагрузку на работу от повышающей обмотки автотрансформатора, если напряжение становится меньше 196 В. Повышающая обмотка позволяет поднять напряжение на 12%. При дальнейшем падении входного напряжения выходное напряжение линейно падает. Когда входное напряжение достигает 176 В (заводская установка) Smart-UPS переключается на работу от батареи. При повышении входного напряжения выше 264 В нагрузка переключается на работу от обмотки автотрансформатора, понижающей напряжение на 12%. После достижения входным напряжением значения 296 В, ИБП переключается на работу от батареи. В большинстве ИБП, взаимодействующих с сетью, имеется только одна ступень регулирования напряжения (в каждую сторону, если регулирование двухстороннее). Но некоторые ИБП имеют две и более ступеней стабилизации в каждую сторону.

Подавление шумов

Для защиты от импульсов в ИБП разных типов применяются разные технологии. ИБП с переключением и взаимодействующий с сетью подавляют приходящий по силовой сети шум с помощью R-C или L-C фильтров. В феррорезонансном ИБП фильтром является феррорезонансный трансформатор. Подавление шумов в ИБП с двойным преобразованием осуществляется в процессе двух преобразований энергии. Кроме того, в цепи постоянного тока этих ИБП обычно стоят специальные емкости и дроссели для сглаживания пульсаций зарядного тока. Эти L-C фильтры очень эффективно подавляют и проникающие через выпрямитель шумы.

Ориентировочные уровни подавления помех в диапазоне частот от 1 до 10 МГц для ИБП разных типов приведены в таблице.

Тип ИБП	Подавление помехи общего вида, дБ	Подавление помехи нормального вида, дБ
С переключением	5-30 (часто не нормируется)	Обычно не нормируется
Взаимодействующий с сетью	5-80	40-100
Феррорезонансный	60	100-120
С двойным преобразованием	до 60	до 100

Подавление импульсов

В мире существуют несколько стандартов, описывающих требования к ИБП, относительно защиты от импульсов. Обычно американские ИБП тестируются на соответствие стандарту ANSI/IEEE C62.41, описывающему параметры импульсов, которые может выдерживать компьютер или оборудование, предназначенное для защиты от импульсов. Стандартом описываются напряжение и форма импульса. Стандарт предусматривает две категории: А и В. Категория А относится к типичным офисным условиям и подразумевает испытание ИБП путем подачи на его вход импульса напряжением 3000 В. Категория В относится к более тяжелым условиям (например для компьютеров, подключенных к сети вблизи к силовому вводу в здание) и предусматривает испытание импульсом напряжением 6000 В. Обычно производители ИБП гарантируют соответствие их продукции категории А этого стандарта или аналогичному стандарту. Некоторые ИБП также соответствуют категории В стандарта.

В ИБП разных типов используются разные технологии подавления импульсов. Варисторная защита от импульсов используется в ИБП с переключением и взаимодействующих с сетью. Препятствием на пути импульса через ИБП с двойным преобразованием энергии является само двойное преобразование, гальваническое разделение (в тем моделях, где оно есть) и сочетание емкостей и батареи в цепи постоянного тока. Однако в некоторых моделях ИБП с двойным преобразованием установлены дополнительно и варисторные шунты.

В феррорезонансном ИБП функцию фильтра импульсов выполняет сам феррорезонансный трансформатор, хотя варисторы также имеются на входе ИБП. Очень простой и эффективный варисторный шунт может подавлять импульсы с токами огромной амплитуды (килоамперы для ИБП с переключением и до десятков килоампер для лучших моделей ИБП, взаимодействующих с сетью).

Для варисторной защиты, как уже отмечалось, имеется принципиальное ограничение энергии импульса, который может выдержать варисторный шунт. Обычно эта энергия равна 80-500 Дж. При поступлении на варистор импульса большей энергии, он может выйти из строя. При этом варистор может механически разрушиться. Это ограничивает в основном длительность импульса, так как амплитуда импульса может быть довольно большой.

Другим ограничением варисторной защиты является ее ресурс. При подавлении импульсов варистор постепенно изнашивается и, в конце концов, выходит из строя.

Две другие технологии защиты от импульсов не имеют принципиального ограничения ресурса и энергии импульса. Это конечно же не свидетельствует о том, что они могут работать вечно и эффективно подавлять импульсы любой амплитуды и длительности. Задачей ИБП является не только выдержать импульс, но и уменьшить его амплитуду до приемлемой для компьютера величины. В таблице приведены ориентировочные значения коэффициента подавления импульса для разных ИБП. Этот коэффициент равен отношению амплитуд импульса без защиты и при использовании защиты. Мне не известна эта величина для ИБП с двойным преобразованием.

Тип ИБП	**Коэффициент подавления импульсов**
С переключением	30-50
Взаимодействующый с сетью	30-100
Феррорезонасный	2000

Коэффициент полезного действия

Коэффициент полезного действия – не самая главная характеристика ИБП. Если компьютеры, защищаемые ИБП действительно работают, то потребляемая ими

электроэнергия стоит существенно меньше, чем хранящиеся в них данные. Поэтому сам по себе коэффициент полезного действия не может рассматриваться как параметр, по которому следует выбирать ИБП. Тем не менее есть несколько важных параметров, связанных с КПД, которые есть смысл обсудить. Коэффициент полезного действия – это отношение мощности, потребляемой нагрузкой ИБП к полной потребляемой ИБП мощности. Чем больше КПД, тем меньшая часть проходящей через ИБП мощности выделяется внутри его корпуса.

Выделение тепла дополнительного внутри корпуса ИБП приводит к ряду неприятных последствий. Если не принимать дополнительных мер для удаления тепла из корпуса (например вентиляторы), то температура внутри ИБП повысится. Это приведет к уменьшению ресурса аккумуляторной батареи ИБП (если она установлена внутри). По данным производителей аккумуляторов, повышение температуры эксплуатации батареи на 10 градусов приводит к уменьшению ее ресурса вдвое. Поэтому все ИБП средней и большой мощности, которые не могут охлаждаться за счет естественной конвекции, оснащены принудительным охлаждением. ИБП малой мощности, построенные по схеме с двойным преобразованием энергии, и феррорезонансные, также приходится принудительно охлаждать, поскольку они имеют наименьший КПД, по сравнению с другими рассмотренными нами типами ИБП.

Величина КПД для ИБП с двойным преобразованием и феррорезонансных ИБП (по данным производителей) составляет 85-94% при полной мощности. Если мощность нагрузки уменьшается до 70-80% от номинальной КПД современных источников бесперебойного питания почти не изменяется. Он начинает заметно падать только при еще меньшей мощности нагрузки. В последнее время появились ИБП с КПД не менее 70-80% даже примощностях около 30% номинальной.

ИБП с переключением, взаимодействующие с сетью имеют приблизительно одинаковые КПД, поскольку при работе от сети основная мощность при работе этих ИБП поступает к нагрузке практически без преобразования. Их КПД при работе от сети равен не менее 96% на режиме полной мощности и плавно уменьшается с уменьшением мощности нагрузки.

Время работы от батареи

Для большинства обычных офисных ИБП небольшой мощности время работы от батареи при максимальной нагрузке составляет 4-15 минут. Если нагрузка ИБП меньше максимальной, то время работы от батареи увеличивается. Из-за нелинейности разрядной кривой аккумуляторной батареи это увеличение не пропорционально уменьшению нагрузки. Если нагрузка уменьшилась вдвое, то время работы может увеличиться в 2.5-5 раз, если втрое, то время увеличивается в 4-9 раз и т.д. Точно определить, сколько будет работать ИБП при неполной нагрузке, можно только экспериментально или пользуясь данными фирмы производителя. На следующем рисунке приведен график, по которому можно приблизительно оценить эту величину.

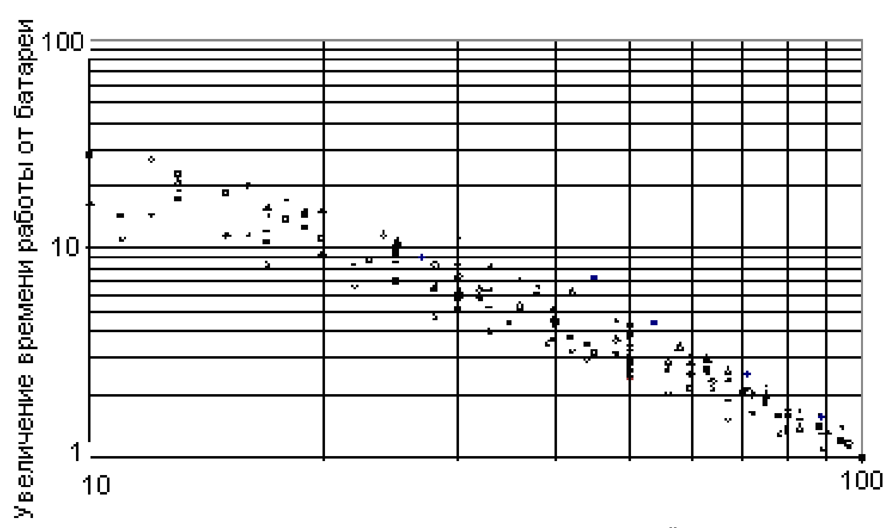


Рис. 29. Время работы ИБП от батареи при нагрузке меньше номинальной

По оси абсцисс отложена нагрузка ИБП в процентах от номинальной. По оси ординат – количество раз, в которое время работы от батареи больше времени работы от батареи при номинальной нагрузке. На рисунке приведены данные фирм производителей для ИБП более 50 разных моделей мощностью от 250 до 18000 ВА. Пользоваться графиком очень просто. Если мощность вашего компьютера составляет 50% номинальной мощности вашего ИБП, то, найдя соответствующее деление на оси абсцисс (горизонтальной оси), поднимайтесь вертикально вверх. На пересечении с серединой облака точек вы найдете нужное вам значение: время работы ИБП от батареи увеличится примерно в 3.5 раза. Данные о времени работы от батареи обычно приводятся для новой и полностью заряженной батареи. Характеристики для изношенной батареи будут совершенно иными. Можно только сказать, что время работы от изношенной или не полностью заряженной батареи будет меньше.

ИБП большой мощности и некоторые ИБП малой мощности имеют возможность увеличения времени автономной работы за счет замены батареи на батарею большей емкости или установки дополнительной батареи. Батарея большей емкости может устанавливаться в том же корпусе или может устанавливаться дополнительный корпус для батареи. Если емкость батареи ИБП увеличивается, а мощность его зарядного устройства остается прежней, то возрастает время заряда батареи. При увеличении емкости батареи в несколько раз, примерно во столько же раз возрастает время заряда. Некоторые производители ИБП предусматривают возможность замены зарядного устройства на более мощное. Это позволяет сохранить приемлемое время заряда при наращивании емкости батареи.

Трехфазные ИБП имеют обычно возможность регулирования зарядного тока в зависимости от емкости установленной аккумуляторной батареи.

ИБП малой мощности, специально предназначенные для длительной автономной работы, как правило имеют модульную конструкцию. Это значит, что пользователь сам выбирает тип батареи или количество однотипных блоков батарей, соответствующее требующемуся времени работы. Наращивание емкости батареи однотипными модулями до емкости, соответствующей времени автономной работы (при полной нагрузке) более нескольких часов, приводит к появлению аккумуляторной станции с огромным числом аккумуляторов. У такой системы есть по меньшей мере один недостаток: большое число контактов, склонных окисляться. Поэтому обслуживание такого ИБП может представлять собой проблему, а поиск неисправности в батарее занимать несколько дней. Обычно для более длительного, чем несколько часов, поддержания работы оборудования рекомендуются дизельные или иные электрические генераторы.

Некоторые ИБП имеют индикатор, по которому можно определить, насколько заряжена батарея ИБП и сколько времени может еще проработать ИБП от батареи. Измерение заряда батареи ИБП довольно сложная задача и очень немногие производители ИБП действительно умеют ее решать. Иногда ИБП предназначают для относительно длительной работы от батареи (например для завершения каких-либо вычислений или передачи данных). В этом случае обычно нужно более или менее точно знать сколько времени осталось до полного разряда батареи. В этом случае лучше не доверяться заявлениям продавцов или производителей ИБП о имеющейся в вашем распоряжении функции, а проверить ее возможности самому.

Всего могут быть три варианта оценки времени, оставшегося до разряда батареи. Самый простой вариант. ИБП измеряет протекающий через него ток и после переключения на работу от батареи начинает отсчитывать время, оставшееся до разряда батареи, пользуясь записанной в постоянной памяти информацией о разрядном цикле. Расчет производится, исходя из полного заряда батареи.

Следовательно, если ваша батарея несколько разряжена или изношена (вы можете об этом и не знать), вы можете быть неприятно удивлены, оставшись без напряжения в самый ответственный момент.

Второй вариант. ИБП измеряет напряжение на батарее и, исходя из записанной в постоянной памяти информацией о разрядном цикле индицирует (на цифровом или светодиодном индикаторе) заряд батареи. В этом случае вам предоставляется возможность самостоятельно приблизительно определять момент, когда ИБП отключится.

Третий вариант является фактически сочетанием первых двух. На основе данных о заряде батареи и потребляемом нагрузкой токе, на цифровое табло выдается число, соответствующее оставшемуся времени работы от батареи. Как уже говорилось, эти данные могут оказаться не совсем точными. Лучше всего (из знакомых мне ИБП) эта функция реализована у ИБП Ferrups.

Коэффициент мощности. Ватты и вольт-амперы

Одним из наиболее популярных вопросов, которые задают покупатели ИБП, является вопрос о том, чем отличаются ватты от вольт-амперов. В цепи постоянного тока дело обстоит довольно просто. Электрический ток, поступая из источника постоянного тока в нагрузку, производит в ней полезную (или бесполезную) работу по перемещению зарядов в направлении электрического поля. Рассчитать мощность в такой цепи очень просто: нужно умножить ток на падение напряжения на нагрузке: P[Ватт] = I[Ампер] * U[Вольт]

В цепи переменного тока, с которой нам приходится иметь дело, рассматривая работу ИБП, все немного по-другому. Для переменного тока вводится понятие мгновенной мощности – это произведение мгновенных значений переменных напряжения и тока. Активная мощность (средняя по времени мощность, выделяемая в нагрузке) равна среднему за период значению мгновенной мощности. Если напряжение имеет синусоидальную форму, и нагрузка в цепи активная (или, иначе говоря, омическая – например, лампы накаливания), то активная мощность равна произведению действующих значений напряжения и тока. Т.е. она рассчитывается примерно так же, как и мощность в цепи постоянного тока: P[Ватт] = Uдейств * Iдейств.

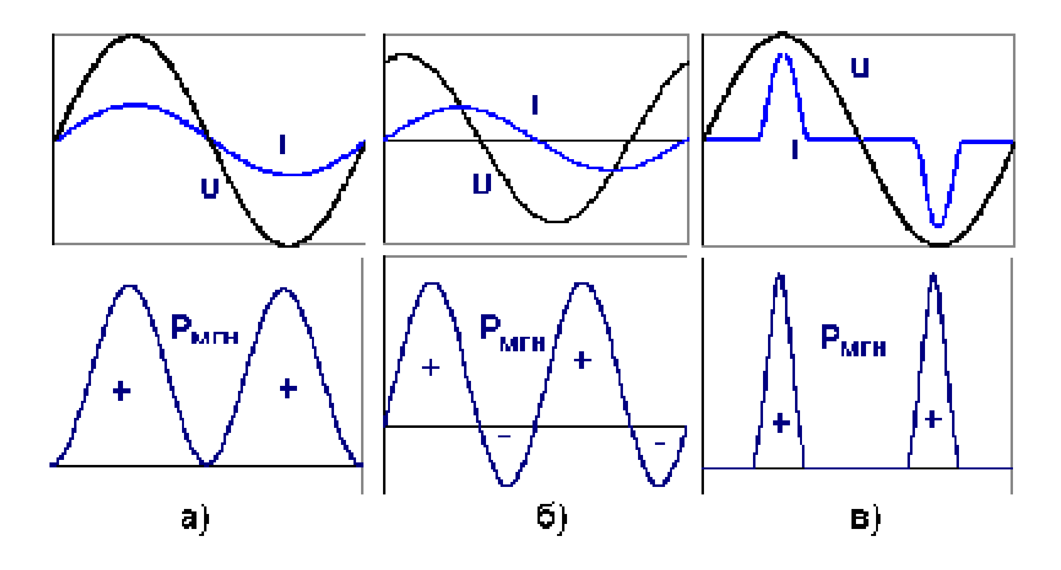


Рис.30. Мгновенная мощность в цепи переменнго тока

а) синусоидальный ток в активной нагрузке; б) синусоидальный ток в нагрузке с реактивной составляющей; в) несинусоидальный ток (нелинейная нагрузка).

На рис. 30а видно, что в этом случае напряжение и ток всегда имеют одинаковый знак (становятся положительными и отрицательными одновременно). Поэтому мгновенная мощность всегда положительна. Физически это означает, что в любой момент времени мощность выделяется в нагрузке. Иначе говоря, так же как в цепи постоянного тока, заряды всегда движутся в направлении действия электрического поля. Если напряжение и ток имеют синусоидальную форму, но нагрузка имеет емкостную или индуктивную (реактивную) составляющую, то ток опережает по фазе напряжение или отстает от него. В этом случае мощность, выделяемая в нагрузке, уменьшается. На рисунке 30б видно, что из-за фазового сдвига, в некоторые моменты времени, напряжение и ток имеют противоположные знаки. В это время мгновенная мощность оказывается отрицательной и уменьшает среднюю за период мгновенную мощность. Электротехник скажет, что в эти моменты времени ток течет из нагрузки в источник тока. С точки зрения физика, в эти моменты времени заряды по инерции движутся против сил электрического поля. Формула для средней за период активной мощности для случая нагрузки с реактивной составляющей несколько изменяется. В ней появляется коэффициент мощности. Для синусоидальных напряжения и тока он численно равен знакомому со средней школы "косинусу фи": P[Ватт] = Uдейств * Iдейств * Cos (Ф). Здесь Ф – угол сдвига фазы между напряжением и током.

Произведение действующих значений напряжения и тока называется полной мощностью цепи переменного тока и измеряется в вольт-амперах (ВА). Полная мощность всегда больше или равна активной (выделяемой в нагрузке) мощности.

Если нагрузкой является компьютер, то дело обстоит еще немного сложнее. Ток, потребляемый компьютером, имеет несинусоидальную форму (см. рис. 30в). Мощность, выделяемая в нагрузке, при такой форме тока также меньше, чем произведение действующих значений напряжения и тока. На рис. 30в видно, что при некоторых значениях напряжения (когда напряжение мало) компьютер не потребляет тока. Мгновенная мощность в эти моменты времени равна нулю – напряжение "пропадает зря", не производя работы. Активная (выделяемая в нагрузке) мощность для случая нелинейной нагрузки выражается формулой. P[Ватт] = Uдейств * Iдейств * К, где К – коэффициент мощности.

Ток "компьютерной" нагрузки как правило несколько опережает напряжение. Но сдвиг фаз очень невелик (10-20 градусов), поэтому коэффициент мощности для компьютера не равен косинусу угла фазового сдвига, а значительно меньше. Если

посчитать среднюю за период мощность импульсного блока питания и разделить на произведение действующих значений напряжения и тока, то получившийся коэффициент мощности будет примерно равен 0.6-0.8.

По данным фирмы American Power Conversion коэффициент мощности равен 0.6 для персональных компьютеров и 0.7 для мини компьютеров. На самом деле, коэффициент мощности компьютерной нагрузки связан с коэффициентом амплитуды тока и, даже для одного и того же импульсного блока питания, зависит от того, насколько блок питания использует свою номинальную мощность. Так, если импульсный блок питания нагружен слабо (к нему подключено мало потребителей – дисководов, процессоров и т.д.), то коэффициент амплитуды увеличивается, а коэффициент мощности уменьшается.

Знать мощность подключенного к ИБП оборудования необходимо для того, чтобы не превысить предельную допустимую нагрузку ИБП. Но нагруженность (или перегруженность) ИБП определяется не только тем, какая мощность выделилась в нагрузке, а еще и тем, какой ток течет через ИБП. Поэтому при указании предельной для ИБП нагрузки обычно указывают максимальную полную мощность в вольт-амперах и максимальную активную мощность в ваттах. Выбирать ИБП нужно так, чтобы максимальная мощность нагрузки не превышала максимальной мощности ИБП. Возникает вопрос: какая мощность – полная или активная? Ответ: обе! Полная мощность нагрузки должна быть меньше номинальной полной мощности ИБП (нужно сравнивать вольт-амперы – ВА). А активная мощность нагрузки не должна превышать номинальной активной мощности ИБП (нужно сравнивать ватты – Вт). ваттах, вы должны быть готовы к тому, что мощность в вольт-амперах будет на 20-40% больше, и выбирать ИБП соответствующей мощности. Для разных нагрузок и разных ИБП ограничением может быть или полная или активная мощность. Чаще всего (для компьютерных нагрузок) ограничением является полная мощность. Как правило мощность компьютера или периферийного устройства указывается в вольт-амперах. Если она указана в ваттах, вы должны быть готовы к тому, что мощность в вольт-амперах будет на 20-40% больше, и выбирать ИБП соответствующей мощности.

Особенности трехфазных источников бесперебойного питания

Почему трехфазные ИБП выделены в отдельную группу? Ведь принцип действия большинства из них (и всех, описываемых в этой книге) – двойное преобразование энергии – такой же, как у множества однофазных приборов.

Кроме очевидных отличий от однофазных приборов, трехфазные ИБП имеют некоторые не слишком заметные на первый взгляд полезные особенности. Как правило, трехфазные ИБП обеспечивают новое качество защиты просто за счет того, что ИБП имеет трехфазный вход.

Распределение нагрузки по фазам

Одной из проблем при использовании однофазных ИБП (или даже просто любых потребителей, подключаемых к сети) является распределение нагрузки по фазам. Если потребители электроэнергии неравномерно распределены по фазам электрической сети, то, при значительной нагрузке сети, возникают два эффекта: одна из фаз сети оказывается перегруженной, в то время, как другие фазы не используют свои возможности полностью; перекос фаз – неравенство фазных напряжений в разных фазах сети, (напряжение в перегруженной фазе меньше номинального, а напряжение в недогруженных фазах больше номинального).

Следствием неравномерного распределения нагрузки по фазам является также перегрузка нейтрального провода. Традиционно в отечественных электрических сетях нейтральный провод имеет в 1.5-2 раза меньшее сечение, чем фазные провода (ведь он предназначен для протекания компенсационных токов, которые должны быть меньше

токов в линейных проводах). Поэтому токи, возникающие в нейтрали при перекосе фаз, могут приводить к перегрузке нейтрального провода. Это как правило сказывается на эффективности работы заземления и может привести к сбоям в работе оборудования. Трехфазные ИБП решают проблему перекоса фаз автоматически. На входе ИБП нагрузка всегда равномерно распределена по фазам за счет того, что выпрямитель и инвертор ИБП работают независимо. Поэтому нейтральный провод нагружен меньше (компенсационные токи, связанные с дисбалансом фаз, отсутствуют). Заземление работает максимально эффективно, помехи для работы компьютеров малы. На выходе ИБП проблема неравномерного распределения нагрузки по фазам конечно остается. С одной фазы трехфазного ИБП мощностью 30 кВА нельзя снять больше 10 кВА. Но даже если вы нагрузите одну из фаз полностью, а другие будут недогружены, то хороший трехфазный ИБП с независимым регулированием напряжения по фазам будет нормально работать, и влияние неравномерного распределения нагрузки скажется только во время переходного процесса, возникающего при резком изменении нагрузки. Таким образом разгрузка нейтрального провода приводит к общему "оздоровлению" электрической сети.

Гармоники в трехфазной электрической сети

Трехфазная электрическая сеть была изобретена для использования синусоидальных токов, и идеально подходит для них. Применение нелинейных потребителей (например компьютеров) в трехфазной электрической сети (а все наши электрические сети такие) имеет очень серьезные (и очень неприятные) особенности.

Представим себе осциллограмму токов в трехфазной электрической сети (см. рис 31). Пусть в электрической сети присутствуют только линейные нагрузки. Следовательно во всех проводах протекают только синусоидальные токи. Допустим также, что эти токи примерно равны.

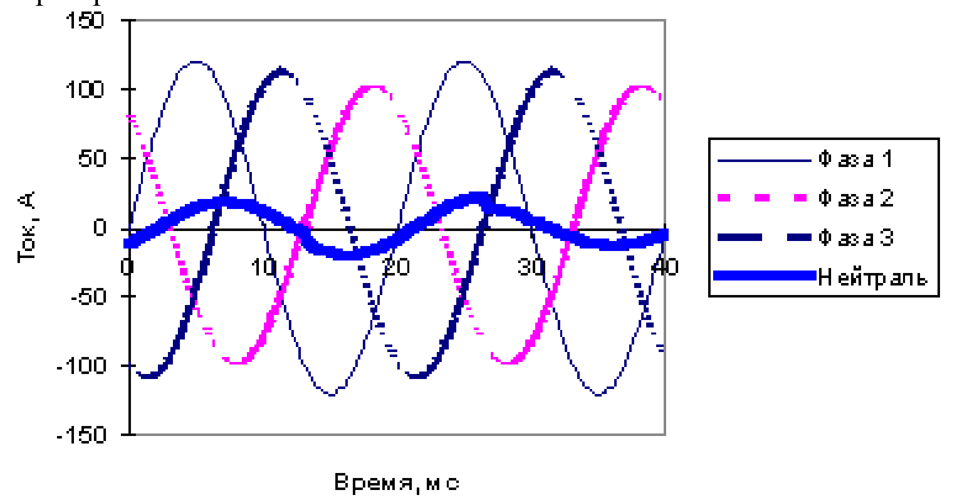


Рис.31. Синусоидальные токи в трехфазной электрической сети

В этом случае нагрузка в электрической сети распределена примерно равномерно: токи в каждой из фаз примерно одинаковы (среднеквадратичное или действующее значение тока изменяется от 70 до 85 А). В нейтральном проводе протекает ток, являющейся геометрической (векторной) суммой всех токов в линейных проводах.Токи частично компенсируют друг друга, и результирующий ток в нейтральном проводе намного меньше тока в каждом из линейных проводов. В данном случае действующее значение тока в нейтральном проводе равно 12 А. Нейтральный провод нужен для компенсации отличий токов линейных проводов. В случае, когда во всех линейных проводах протекают одинаковые токи, компенсация не требуется: ток в нейтральном проводе равен нулю. Случай, когда вся нагрузка сети сосредоточена в одной из фаз, самый плохой: ток в нейтральном проводе равен току в фазном проводе. Но обычно

электрики следят если не за равномерностью распределения нагрузки по фазам, то, по крайней мере, за тем, чтобы ни одна из фаз не была перегружена Поэтому, как правило, нагрузка в трехфазной сети распределена более или менее равномерно, и ток в нейтральном проводе мал.

При проектировании электрических сетей этот удобный факт широко используют для экономии материала. В отечественных трехфазных кабелях один из проводов (нейтральный) часто имеет намного меньшее сечение. Например в кабеле, рассчитанном на ток около 100 А (мощность трехфазной сети около 70 кВА) линейные провода имеют площадь поперечного сечения 35 или 25 кв. мм, а нейтральный провод – всего 16 кв. мм. При синусоидальных токах и примерно равномерном распределении нагрузки по фазам это не имеет значения: нейтральный провод очень далек от перегрузки.

Посмотрим теперь, как ведет себя трехфазная электрическая сеть при протекании в ней несинусоидальных токов, характерных для "компьютерных" нагрузок, оснащенных импульсными блоками питания. На рисунке 32 приведен вид осциллограммы токов нелинейных нагрузок в трехфазной электрической сети. Все три фазы сети одинаково нагружены "компьютерной" нагрузкой со значительным коэффициентом гармонических искажений и коэффициентом амплитуды (пик-фактором) равным 3.

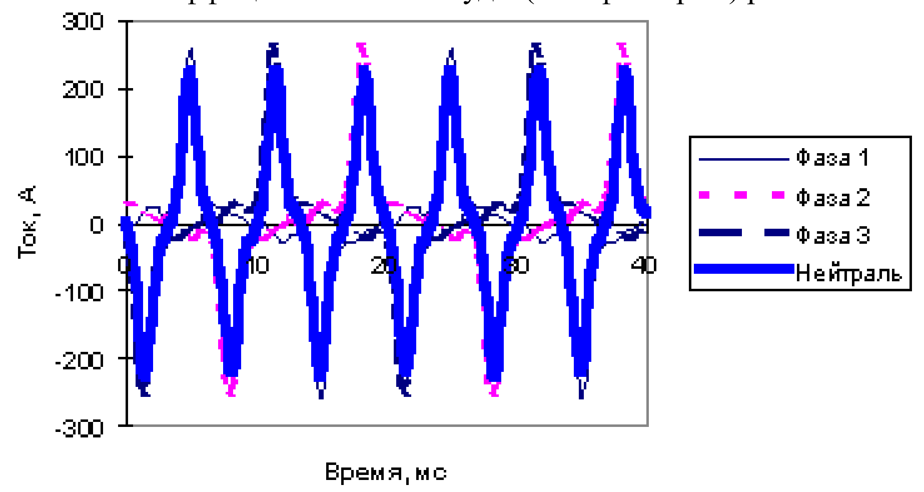


Рис. 32. Нелинейная нагрузка в трехфазной электрической сети

Действующее значение тока в каждой из трех фаз равно 85 А. Оно примерно такое же, как и действующие значения токов на рис 31. Несмотря на полностью симметричную нагрузку, в нейтральном проводе наблюдается очень большой ток. Его действующее значение равно 120 А. Амплитудное значение тока равно 226 А. Это значит, что нейтральный провод не выполняет (или плохо выполняет) свою функцию компенсации токов при нелинейной нагрузке. На рисунке видно, что амплитуда тока в нейтрали даже немного меньше амплитуды тока в линейных проводах. Почему же действующее значение получается намного больше? Приглядевшись внимательнее к рис. 32 (и сравнивая его с рис. 31), вы увидите ответ – частота тока в нейтрали не совпадает с частотой тока в линейных проводах. В нейтрали течет ток с частотой 150 Гц. Открыв справочник по электротехнике мы легко обнаружим, что велосипеда не изобрели. При протекании равных несинусоидальных токов в линейных проводах трехфазной сети действующее значение тока в нейтральном проводе складывается из токов гармоник, номер которых кратен 3. Интенсивность девятой и последующих гармоник в токе потребления импульсного источника питания не слишком велика. Но третья гармоника является главной (после первой) гармоникой в токе потребления компьютера – ее интенсивность может достигать 60%, и именно ей в основном обязан перегрузкой нейтральный провод. (Вот откуда в нейтрали 150 Гц).

Чем же это опасно? Рассмотрим простой пример.

Возьмем небольшое здание, к которому подведен трехфазный кабель. Пусть три из проводов имеют сечение 25 кв. мм, а четвертый (конечно же – нейтральный) провод – 16 кв. мм. На входе в здание установлен трехфазный автомат на 100 А, примерно соответствующий предельному току линейных проводов. Предельный ток нейтрального провода равен 80 А, но на нейтральном проводе не устанавливают предохранители из-за опасности сильного перекоса трехфазной системы переменного тока при обрыве нейтрального провода. При линейной нагрузке, равной примерно 80% от максимальной (см. рис. 31) линейные провода хорошо нагружены, но не перегружены. Нейтральный провод, рассчитанный на ток до 80 А находится практически в режиме холостого хода.

При нелинейной нагрузке, равной 85% от номинальной (рис. 32), линейные провода нагружены так же, как при протекании в сети синусоидальных токов. Ток в нейтральном проводе превышает ток в линейных проводах почти в полтора раза. Вспомним: нейтральный провод рассчитан на ток не более 80А. Опасная перегрузка налицо. Самое плохое в этой ситуации то, что эту перегрузку никто не заметит. На нее не отреагирует ни один прибор защиты. Ведь на нейтральном проводе обычно не устанавливают измерительных приборов.

Что же делать? Как защитить сеть от нелинейной нагрузки?

Есть два варианта: создать новую электрическую сеть с двух или трехкратным запасом по мощности или установить трехфазный ИБП.

ИБП с трехфазным входом имеет в качестве входного устройства выпрямитель. Выпрямитель – безусловно нелинейная нагрузка. Но в спектре тока, потребляемого трехфазным выпрямителем, нет третьей гармоники и всех высших гармоник, номер которых кратен трем.

Что же будет, если из спектра токов, приведенных на рис. 32 исключить третью и девятую гармонику (и, пусть имеющие небольшую интенсивность, другие гармоники с номером, кратным 3)? Произойдет почти чудо: действующее значение тока в нейтральном проводе станет равным нулю. Электрическая сеть нашего примерного дома спасена от перегрузки, а дом – от пожара.

Шести-импульсные и двенадцати-импульсные выпрямители

Обычный двух-полупериодный выпрямитель в однофазной электрической сети имеет спектр входного тока, состоящий из гармоник с номерами 2±1 (т.е. из множества нечетных гармоник). Амплитуда гармоники более или менее монотонно уменьшается с увеличением ее номера (см. рис. 24). Традиционно в трехфазных ИБП применяются 6-импульсные (или шести-полупериодные) выпрямители. Название подразумевает. что за период трехфазной сети на выходе такого выпрямителя возникает 6 импульсов тока. Простейшая схема такого выпрямителя – трехфазный мост (см. рис. 33).

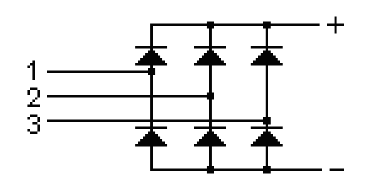


Рис. 33. Трехфазный мост

Спектр гармоник тока 6-импульсного выпрямителя включает (кроме первой гармоники) гармоники с номерами 6±1 – см. рис. 34.

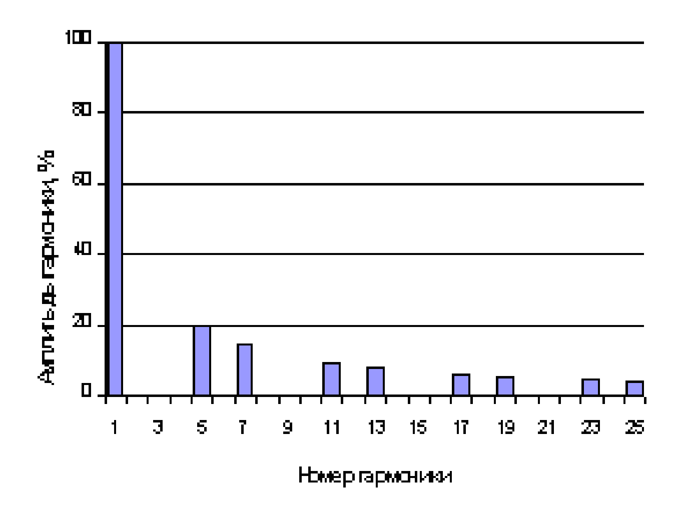


Рис.34. Спектр тока 6-импульсного выпрямителя

Теоретически амплитуда n-й гармоники равна амплитуде первой гармоники, деленной на n. Т.е. амплитуда 5-й гармоники составляет 20%, а амплитуда 11-й гармоники – около 9% амплитуды первой гармоники. Соответственно, теоретический коэффициент гармонических искажений входного тока шестиимпульсного выпрямителя равен примерно 30%. Для уменьшения гармонических искажений применяют 12-импульсные выпрямители. Двенадцати-импульсный выпрямитель состоит из двух трехфазных мостов. На один из них подается напряжение непосредственно от трухфазной сети, а второй мост питается от специального трансформатора, сдвигающего фазу на 30 градусов.

Теоретически спектр тока 12-импульсного выпрямителя включает (кроме первой гармоники) только гармоники с номерами 12±1 – см. рис. 35.

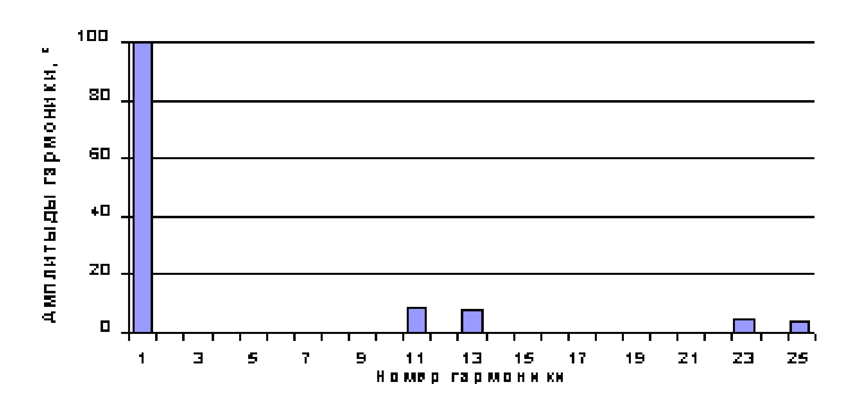


Рис. 35. Теоретичесий спектр входного тока двенадцати-импульсного выпрямителя

Соответственно теоретический коэффициент гармонических искажений входного тока 12-импульсного выпрямителя примерно равен 14%. Практически, из-за неполного совпадения характеристик двух выпрямителей, гармоники с номерами 6±1 полностью подавить не удается. Поэтому коэффициент гармонических искажений двенадцати-импульсного выпрямителя может несколько отличаться от своего теоретического значения. Для еще более значительного подавления гармоник тока применяют (очень редка) 24-импульсные выпрямители или (несколько чаще) фильтры гармоник.

24-импульсный выпрямитель имеет в спектре гармоники с номерами 24±1. Теоретический коэффициент гармонических искажений входного тока такого выпрямителя менее 7%. Фильтры гармоник чаще всего представляют собой резонансные L-C цепи, предназначенные для фильрации определенных гармоник. Так для работы с шести-импульсным выпрямителем применяют фильтры, практически полностью поглощающие 5-ю и 7-ю гармоники. В этом случае коэффициент гармонических искажений входного тока уменьшается примерно до 18%.

В последние годы, по мере появления быстрых силовых полупроводников в благородном деле борьбы с гармониками тока произошел прорыв. Теперь в некоторых ИБП выпрямитель построен на биполярных транзисторах с изолированным затвором (или, по-английски, IGBT). Входной ток такого выпрямителя имеет синусоидальную форму. Т.е. коэффициент гармонических искажений равен 0.

Гармоники и электрические генераторы

При создании системы бесперебойного питания иногда для обеспечения длительной работы оборудования большой мощности приходится устанавливать дизельные генераторы. Генератор в этом случае имеет мощность сопоставимую с мощностью оборудования в целом (а не намного большую, как в случае питания от электрической сети или, к конечном счете, от электрического генератора электростанции). При таком соотношении параметров генератор сильно взаимодействует с гармониками тока, возникающими в электрической сети с нелинейными нагрузками. В генераторе возникают опасные для его сохранности токи, которые отсутствуют при работе генератора на линейную нагрузку той же мощности. Эти токи вызывают перегрев генератора и уменьшают его ресурс. Поэтому, при работе генератора на компьютерные нагрузки необходим большой запас по мощности (см. главу 11). Применение трехфазного ИБП позволяет ликвидировать третью гармонику в спектре тока, потребляемого генератором, и значительно уменьшить требуемый запас по мощности. Для еще более значительного уменьшения запаса мощности применяют все описанные выше меры для борьбы с гармониками, но чаще всего – специальные фильтры гармоник и трехфазные ИБП с 12-импульсным выпрямителем.

Сводка характеристик ИБП

Некоторую часть уже сказанного о свойствах ИБП разных типов можно попытаться свести в таблицу. В таблице на следующей странице наличие того или иного свойства у ИБП отмечено зведочками. Чем больше звездочек в ячейке таблицы, тем сильнее развито рассматриваемое качество. Наличие в графе звездочки не означает, что этот вид ИБП обладает указанным свойством по определению, а относится к лучшим моделям ИБП указанной группы.

Тип ИБП	ИБП с переключением	ИБП, взаимодействующий с сетью	Феррорезонансный ИБП	ИБП с двойным преобразованием энергии	
				Однофазный	Трехфазный
Отсутствие разрыва напряжения при переходе на работу от батареи	*	*	*****	*****	*****
Устойчивость к динамическим	**	**	****	*****	*****

нагрузкам					
Устойчивость к скачкам напряжения		*	****	****	****
Могут использоваться для длительной автономной работы		**	***	***	*****
Подавление электромагнитных шумов	*	*	****	*****	*****
Подавление высоковольтных импульсов	*	**	*****	****	****
Исправление формы синусоиды			**	*****	*****
Разгрузка нейтрального провода			****		*****
Стабилизация напряжения		**	****	*****	****
Горячее резервирование и параллельная работа					****
Надежность в условиях идеальной электрической сети	****	***	*****	****	****
Надежность в условиях плохой электрической сети	**	*	*****	**	****
Уровень защиты оборудования в хорошей электрической сети	**	****	****	*****	*****
Уровень защиты оборудования в плохой электрической сети	*	*	****	**	***